



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 박사학위논문

다중 버스정류장의 시내버스 노선 최적 배분 연구

- 미시적 운행 자료를 이용하여 -

2017년 2월

서울대학교 대학원
환경계획학과 교통학전공
김 경 희

다중 버스정류장의 시내버스 노선 최적 배분 연구

- 미시적 운행 자료를 이용하여 -

국문초록

김 경 희

실무현장에서 환승시설에 다수의 버스 노선을 각 구역별 버스정류장에 배분할 때 명확하고 객관적인 업무 지침이나 가이드라인이 마련되어 있지 않아 담당자마다 각기 다른 기준을 적용하고 있다. 1999년 「교통체계 효율화법」 제정과 더불어 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」이 2015년 고시 되었다. 환승시설의 배치기준은 “목적지의 방향이 유사한 버스 노선들을 하나의 정류장 또는 가까운 정류장에 첨두시의 시간당 버스차량 정차대수가 정류장별로 균등해지도록 버스노선을 배치한다.”로 하고 있다. 이 기준을 적용함에 있어 의사결정자의 주관적인 판단이 반영될 수 있어 객관적이고 합리적인 기준 마련이 필요하다.

버스정류장 및 정차면 용량을 설명하는 매개변수는 초(Sec) 단위의 연속된 운행단위 값들(차두시간, 정차시간, 소거시간 등)로 도로 및 교통 조건에 따라 버스정류장에 도착하는 개별 버스의 도착분포와 승하·차 인원 등에 따라 정차시간이 달라진다. 이를 반영하기 위해서는 미시적 수준에서의 데이터 분석이 필요하다. IT기술 발달과 더불어 교통분야에서도 2000년 초반에 ITS(Intelligent Transport System) 도입되었다. 다양한 검지시스템을 통해 실시간으로 개별 차량에 대해 초(Sec) 단위의 데이터 수집이 가능해져 현장조사에 의존하지 않아도 되는 환경이 구축되었다. 버스정류장에 실시간으로 도착하는 개별 버스의 특성을 분석하기 위해 초(Sec) 단위의 BIS와 검지기 데이터를 이용 하였다.

본 연구의 주요 결과는 첫째, 버스정류장 용량에 중요한 영향을 미치는 정차시간과 차두시간 분포모형에 대해 K값이 각각 3과 1인 Erlang분포모형을 제시하였다. 실무현장에서 버스정류장의 적정 정차면수를 평가하는데 활용할 수 있도록 차두시간 분포모형의 누적분포 확률을 활용하여

송내 환승시설 적정 정차면수를 평가하였다.

둘째, 실무현장에서 다중 버스정류장에 버스 노선을 배분할 경우 제한된 정보와 시간적 제약으로 실무현장에서 경험하는 경험적 지식과 전문가의 직관적인 판단을 기반으로 하는 방안이 필요하다. 실무현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 휴리스틱 접근방법에 의한 노선배분 절차를 매뉴얼 방식으로 제시하였다.

셋째, 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 계획은 때로는 휴리스틱 조건이 틀릴 수 있기 때문에 그로 인한 오류가 발생할 수 있고 가장 이상적인 해를 제시하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 전체 정류장의 총 대기시간이 최소가 되는 노선배분 해를 목적함수로 하는 최적화 모형을 함께 제시하였다. 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 계획보다 최적화 모형에서 제시한 노선배분 해가 오전, 오후 첨두시에 모두 대기시간을 최소화 하였다.

넷째, 모형의 일반화를 위한 사후적 검증은 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션 하였다. T시간동안 전체 정류장에 진입하는 버스대수 중 대기하는 버스대수 비율을 평가지표로 하여 시나리오별 · 구역별 대기비율을 평가한 결과 이용자 고려시와 미고려시 모두 감소하는 것으로 평가 되었다.

본 연구를 통해 다중 버스정류장에 도착하는 개별 버스의 운행패턴에 대한 특성치를 제시할 수 있었다. 다중 버스정류장의 효율적 운영을 위해 노선배분 방법론으로 휴리스틱 접근방법과 수리적 모형을 통한 최적화 모형을 제시하였다. BIS를 운영하는 많은 지자체에서 현장 여건에 따라 선택적으로 활용할 수 있으리라 판단되며, 합리적인 버스정류장 시설 · 운영에 있어 기초적인 연구사례로 활용되기를 기대한다.

향후 확대 추진되는 다양한 환승센터 사례를 토대로 분석 데이터 범위를 확대함이 필요하며 환승 교통수단과 연계한 대중교통 수단 분담률 향상방안에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주 요 어 : 다중 버스정류장, 시내버스 노선 최적 배분, 미시적 운행
자료, 휴리스틱 접근방법, 정차시간, 차두시간

학 번 : 2007-30646

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 목적	1
제2절 연구의 범위 및 방법	5
제3절 연구의 수행체계	7
제2장 이론 및 선행연구 고찰	10
제1절 버스정류장 및 정차면 용량 산정이론 고찰	10
1. 용어 정의	10
2. 정차면 및 정류장 용량	14
3. 차두시간 및 정차시간 이론 고찰	20
제2절 수리계획법 이론 고찰	25
제3절 선행연구 고찰 및 시사점 도출	28
1. 선행연구 고찰	28
2. 선행연구 시사점 검토	34
3. 본 연구의 차별성 및 기여	36
제3장 정류장에서의 개별 차량 운행 특성 분석	40
제1절 개요	40
제2절 데이터 구축	43
제3절 정차시간, 차두시간 특성 분석	51
1. 정차시간 및 차두시간 분포 특성	52
2. 정차시간변동계수	54
3. 정차시간과 차두시간이 버스정류장 용량에 미치는 영향	55
제4절 정차시간 및 차두시간 분포모형 선정 및 평가	56
1. 정차시간 분포모형	58
2. 차두시간 분포모형	61
3. 적합분포 검정	64
4. 모형 검증	68
5. 모형 활용	70

제4장 휴리스틱 접근법에 의한 노선배분	72
제1절 방법론 및 전제조건	72
제2절 단계별 접근방법	75
제3절 평가	81
1. 평가지표	82
2. 평가	83
제5장 최적 노선배분 모형 연구	85
제1절 모형 구축 조건	85
1. 문제 정의	85
2. 모형 수립 전제조건	87
제2절 모형 구성 요소	91
제3절 알고리즘 개발	92
제4절 알고리즘 적용 결과	99
제6장 모형 검증 및 평가	117
제1절 검증방법	117
1. 시나리오	118
2. 시뮬레이션 조건	118
3. 평가지표	121
제2절 모형 평가	123
제7장 결론 및 향후과제	124
제1절 결론	124
제2절 적용방안 및 향후연구	127
부록	129
참고문헌	137
Abstract	140

표 목 차

〈표 1-1〉 환승시설 이용 관내 20개 노선 배차간격 현황	2
〈표 2-1〉 주행차로 재진입 지연시간	15
〈표 2-2〉 Failure rate와 Z_a 의 관계	16
〈표 2-3〉 버스정류장의 이용효율(다수 정차면)	17
〈표 2-4〉 정류장 버스대기비율에 따른 정차면 용량 산출 보정계수(R)	18
〈표 2-5〉 경험적인 버스 정차대수에 따른 이용효율	19
〈표 2-6〉 단일정차면에서의 버스도착분포 모형 연구사례	29
〈표 3-1〉 22개 노선 현황	40
〈표 3-2〉 데이터 구축 현황	48
〈표 3-3〉 수집원별 정차시간 특성치 및 분산검정	49
〈표 3-4〉 오전/오후 구역별 정차시간 통계검정	50
〈표 3-5〉 구역별 오전/오후 정차시간 통계검정	51
〈표 3-6〉 정차시간 및 차두시간 기초 통계값	54
〈표 3-7〉 정차시간 변동계수(c_v)	55
〈표 3-8〉 용량과 정차시간 및 차두시간 상관성	55
〈표 3-9〉 버스정류장에서의 정차시간 및 차두시간 분포모형 선행연구 사례 ..	56
〈표 3-10〉 오전 침두시_정차시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE ..	58
〈표 3-11〉 오후 침두시_정차시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE ..	59
〈표 3-12〉 오전 침두시_차두시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE ..	61
〈표 3-13〉 오후 침두시_차두시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE ..	62
〈표 3-14〉 정차시간, 차두시간 추정분포에 대한 통계검증	64
〈표 3-15〉 정차시간 및 차두시간 분포 모형 선정	66
〈표 3-16〉 정차시간 및 차두시간에 대한 모형치와 관측치 RMSE ..	68
〈표 3-17〉 정차시간 및 차두시간 분포 모형 χ^2 -test 결과	69
〈표 3-18〉 차두시간 분포모형에 따른 적정 주차면수 평가	70

<표 4-1> 대안선정 기초자료 및 평가자료 조건	73
<표 4-2> 노선별 승하차인원, 배차간격, 운행경로 현황	76
<표 4-3> 노선별 시간당 총 정차시간	77
<표 4-4> 운행경로 특성분석에 따른 대안 검토	77
<표 4-5> 대안별 진입 노선수, 총 정차시간	81
<표 4-6> 노선별 입력 정차시간 값	81
<표 4-7> 시나리오별, 구역별 노선배분 현황	82
<표 4-8> 시뮬레이션 결과	83
<표 4-9> KHCM 권장치 대기비율에 따른 평가	84
<표 5-1> 노선별 진입대수, 평균 점유시간	86
<표 5-2> 송내 환승시설 정류장별 노선배분 현황	87
<표 5-3> 22개 노선 중 유사 경로 노선 현황	88
<표 5-4> 휴리스틱- $R_{seed}(\text{휴리스틱})$	99
<표 5-5> 최적화모형- $R_{seed}(\text{이용자고려} - \text{오전첨두})$	101
<표 5-6> 최적화모형- $R_{seed}(\text{이용자고려} - \text{오후첨두})$	101
<표 5-7> 최적화모형- $R_{seed}(\text{이용자미고려} - \text{오전첨두})$	102
<표 5-8> 최적화모형- $R_{seed}(\text{이용자미고려} - \text{오후첨두})$	103
<표 5-9> 휴리스틱 접근법과 최적화모형 대기시간 분석 결과 ...	107
<표 5-10> 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 고려_오전첨두시 ..	108
<표 5-11> 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 고려_오후첨두시 ..	109
<표 5-12> 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 미고려_오전첨두시 ..	109
<표 5-13> 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 미고려_오후첨두시 ..	110
<표 5-14> 오후 첨두시 노선배분 해를 오전 첨두시에 적용시 대기시간 ...	111
<표 5-15> 이용자 미고려시_오전, 오후 첨두시 최적 노선배분 해 ..	111
<표 5-16> 최적 노선배분 해의 이용자 이용 편의성 검토	115
<표 5-17> 휴리스틱 접근방법과 최적화 모형 이용자 고려시 노선배분 현황 ..	116
<표 6-1> 시뮬레이션 시나리오	118
<표 6-2> 시나리오별, 노선별 정차시간	119
<표 6-3> 시나리오별 정차시간	120
<표 6-4> 모형 MOE 평가	123

그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 공간적 범위	6
<그림 1-2> 연구의 내용적 범위와 수행절차	7
<그림 1-3> 연구 수행체계	9
<그림 2-1> 버스 정차 및 정류장 시설 구성	10
<그림 2-2> 시공도상 버스정류장에서의 버스궤적	10
<그림 2-3> 정류장에서의 버스의 점유시간 구성	11
<그림 2-4> 톱니형 다중 버스정류장 및 다중정차면 설치 현황	11
<그림 2-5> 버스정류장 유형	12
<그림 2-6> 버스정류장에서의 개별 버스 도착 및 정차시간 수집체계	13
<그림 2-7> Person Type III 분포 모형의 분류(May, 1990)	24
<그림 2-8> FR=0.15일때 다중정차면에서의 버스 서비스시간 대비 용량 증가분 변화	29
<그림 2-9> FR=1일때 다중정차면에서의 버스 서비스시간 대비 용량 증가분 변화	29
<그림 2-10> FR=0.15일때 다중정차면에서의 버스 차두시간 대비 용량 증가분 변화	30
<그림 3-1> 송내 환승시설 버스정류장 및 정차면 설치 현황	41
<그림 3-2> 송내 환승시설 오전, 오후 침두시간	43
<그림 3-3> 비디오 영상 정차시간 및 차두시간 측정 방법	44
<그림 3-4> GPS를 이용한 정주기방식의 이벤트 정보 수집	45
<그림 3-5> BIS 정류장 점유시간, 차두시간 측정방법	46
<그림 3-6> 루프 검지기 수집체계	46
<그림 3-7> 루프 검지기에서 정차시간 및 차두시간 측정방법	47
<그림 3-8> 버스정류장에서 개별 버스의 정차시간 및 차두시간 측정방법	52
<그림 3-9> 오전, 오후 침두 정차시간 분포	53
<그림 3-10> 오전, 오후 침두 차두시간 분포	53
<그림 3-11> Histogram Optimization	57
<그림 3-12> 오전침두시 구역별 정차시간분포 비교	59
<그림 3-13> 오후침두시 구역별 정차시간분포 비교	60
<그림 3-14> 오전침두시 구역별 차두시간분포 비교	62
<그림 3-15> 오후침두시 구역별 차두시간분포 비교	63

<그림 3-16> 정차시간 분포 모형치와 관측치1,2 비교	68
<그림 3-17> 차두시간 분포 모형치와 관측치1,2 비교	69
<그림 4-1> 휴리스틱 접근방법에 의한 노선 배분 단계별 절차	74
<그림 5-1> 입력자료 구성	89
<그림 5-2> 알고리즘 로직	94
<그림 5-3> 노선별 BIS 정류장 이벤트 입력 데이터 구축	95
<그림 5-4> 정류장 및 베이 수 입력화면	96
<그림 5-5> 동일구역 배분 노선 Merge	96
<그림 5-6> R_{seed} Matrix 생성(matrix 수 : s^n)	97
<그림 5-7> Z_{seed} 계산 과정	97
<그림 5-8> $fg_{seed}(s,t), Z_{seed}$ 계산과정	98
<그림 5-9> 알고리즘 실행	100
<그림 5-10> 운영중인 노선배분에 따른 총 대기시간 산출	105
<그림 5-11> *.csv file($n, t1, O_t$) 입력	105
<그림 5-12> R_{seed} 의 대기시간 산출 Seed 입력	106
<그림 5-13> R_{seed} matrix file(Z_data.csv) 입력	106
<그림 5-14> seed값 자동 검색	106
<그림 5-15> 구역별 대기시간 산출	107
<그림 5-16> 정류장별 대기시간 산출	108
<그림 5-17> 오후 첨두시 노선배분을 오전 첨두시에 적용시 대기시간 산출	110
<그림 5-18> 오전 첨두시-1그룹노선	112
<그림 5-19> 오전 첨두시-2그룹노선	112
<그림 5-20> 오전 첨두시-3그룹노선	113
<그림 5-21> 오후 첨두시-1그룹노선	113
<그림 5-22> 오후 첨두시-2그룹노선	114
<그림 5-23> 오후 첨두시-3그룹노선	114
<그림 6-1> 시뮬레이션(VISSIM) 절차	117
<그림 6-2> 노선 및 노선정차시간 입력(12-1번, 정차시간 26초)	121
<그림 6-3> 시뮬레이션 수행	121

[부호 설명]

$ACCEL$	소거시간(가속시간: LOOP_OUT~BIS_OUT)
$A_i(k)$	k 번째 후보 열차의 정차 가능 역을 이용한 논리망
A_p	승하차인원
A_t	정차면을 사용한 후에 다음 버스가 이용할 수 있도록 비워주기 위해 소요되는 가속시간, 인당 평균 승하차시간
a_{ij}	기술계수
BIS_IN	BIS 정류장 진입이벤트 발생시간
BIS_OUT	BIS 정류장 진출이벤트 발생시간
B_l	1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수(vph)
B_s	버스정류장 용량
b_j	이용 가능한 자원
C_H	버스도착 차두시간 변동계수
C_{ij}	단위당 기여도
C_k	k 번째 후보 열차의 좌석 용량
C_s	버스 서비스시간 변동계수
C_v	정차시간에 대한 변동계수(표준편차÷평균×100)
c_B	정류장당 시간당 최대 차량수
c_b	정차면당 시간당 최대 차량수
DT_n	노선별 정차시간
D^{od}, f^{od}	od 간 수요
D_k^{od}	k 번째 열차에 배분되는 수요량
D_t	정차면에 진입하기 위한 감속시간
$EV(i,t)$	t 시간대 존 i 에서의 빈 택시수
$fg_{seed(s,t)}$	각 $seed$ 의 정류장 s 의 시점 t 의 대기시간(0또는1)
$f_{seed(s)}$	각 $seed$ 의 정류장 s 의 총 대기시간
$G_{(n,s)}$	노선 n 의 정류장 s 에 대한 정차계획(0또는1)
g/C	교차로의 유효녹색시간 비율
$g_{seed(s,t)}$	각 $seed$ 별 정류장 s 의 시점 t (1초 단위로 자료 수집)에서의 도착(정차)대수(0또는1)

H_k	k 번째 후보 열차의 노선에 대한 최대 정차 횟수 제약
h, t	연속된 운행단위의 차두시간
h_i	각 차량별 차두시간
h_m	평균차두시간
\bar{h}, λ	평균 차두시간, 버스유입비율
IO_DUR	정차시간(Loop in~Loop out)
$IN(T)$	버스 도착시간, BIS_IN
$in(dT)$	$IN(T)$ 을 0초부터 초기화한 값
$in(idx)$	최종 모형 입력 값, 진입시간
K	분포도의 형태를 결정하는 매개변수, 투입가능 후보 열차집합
$LOOP\ IN$	검지기 정차면 진입시간
$LOOP\ OUT$	검지기 정차면 진출시간
L_w	링크 w 의 선로용량
m	제약조건의 수
N_{el}	버스정차면 이용효율
$N_{(t,s)}$	시점 t 에서의 정류장 s 의 진입대수
n	T 시간동안 통과한 총 차량 대수, 의사결정 변수의 수, 노선수
O_t	한 버스가 버스 정류장에 도착하여 점유하고 있는 시간
$OUT(T)$	노선별 실제 도착해서부터 진출하는데 소요된 시간($IN(T) \sim TOT_DUR$)
$out(dT)$	$OUT(T)$ 를 0초부터 초기화한 값
$out(idx)$	최종 모형 입력 값, 노선별 정차시간 및 가속시간이 반영된 점유시간
P_a	첨두15분 동안 버스당 하차객수
P_b	버스정류장의 정차면수
$P(j,t)$	t 시간대 존 j 에서의 예약 승객수
p^k	k 번째 후보 열차의 투입비용
q	교통량
\bar{q}	평균 교통류율

R	정차면 용량 보정계수
$ROUTE$	노선번호
R_{seed}	s 개 정류장과 n 개 노선의 가능한 모든 노선배분 Matrix($0 \sim 3^{22}$)
S	정차시간 표준편차
S_i	i 역의 최소 정차 횟수
S_t	승객의 승하차를 위해 출입문을 개폐하는데 걸리는 시간과 승객 승하차 시간을 반영하는 정차시간의 합
s	정류장수
$seed$	$0 \sim 3^{22}$ 개의 가능한 조합의 수
$s(k), t(k)$	k 번째 후보 열차의 출발 및 도착역
sn	정류장의 정차면수
s_k^{od}	k 번째 열차의 미충족 od 수요량
T	관측시간
T_b	평균 정차회전율
TDT	총 정차시간
$TEVT_t$	t 시간대 총 빈 차량시간
$T(K)$	Gamma함수
T_i	배차간격
TOT_DUR	$IO_DUR + ACCEL$
T_r	운행경로
t_a	승객하차시간
t_c	소거시간
t_d	평균정차시간
t_{ij}	ij 역간 무정차 운행시간
t_{oc}	출입문 개폐시간
$t1$	reference point 1
$t2$	reference point 2
V_b	분당 버스정차대수
$VT(i,j,t)$	t 시간대에 존 i 에서 존 j 까지의 차량통행시간

W_{nr}	전체 정류장 총 대기비율
$W_{(t,sn)}$	시점 t 에서의 정류장 s 의 대기대수
X	평균 정차시간
X_j	의사결정변수
$X(i,j,t)$	t 시간대에 빈 택시가 위치한 존 i 에서 승객의 출발지인 존 j 에 배차되는 빈 택시의 수
Y_i	실제값
\hat{Y}_i	추정값
Z_a	대기행렬이 발생하지 않을 가능성에 상응하는 변량
Z_{seed}	각 $seed$ 에 대한 s 개 정류장의 총 대기시간
α	분포도의 전이를 결정하는 매개변수
λ_{ijk}^{od}	논리호 ij 를 지나는 k 번째 후보 열차의 od 수요량
λ_t	알려지지 않은 밀도
$\hat{\lambda}_t$	n 개의 서로 독립이며 동일한 분포를 따르는 확률변수들에 기초한 추정값
μ	최대 서비스비율

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

IT 기술이 발전하면서 교통분야에도 1999년에 「교통체계효율화법」을 제정하였다. 2000년 초반에 ITS(Intelligent Transport System)가 국내에 도입되어 상용화가 시작 되면서 현재까지 많은 단위시스템이 개발되어 첨단교통 운영체계를 지원하고 있다. 4차 산업혁명을 빅 데이터 혁명이라고 할 정도로 데이터의 양도 커지고 종류도 다양해졌다. 교통분야에서도 ITS 기술 발달로 검지시스템이 다양해짐에 따라 실시간 기반의 데이터 수집이 가능해져 현장조사에 의존하지 않아도 되는 환경이 구축 되었다.

2030년까지 수송부문 국가온실가스 감축 목표(2,590만 톤)아래 대중교통 이용률 증대를 위한 지속적인 노력이 필요하다. 이에 일환으로 대중교통 지원시설인 환승센터 구축이 활발히 진행 되고 있다. 「환승센터 및 복합환승센터 설계 배치·기준」이 2015년 고시되었다. 환승시설의 대중교통 노선 배치는 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준」을 적용하도록 하고 있다. 유사경로 노선을 결정함에 있어서 담당자의 주관적인 판단에 따라 결과가 달라질 수 있는 문제점이 있다.

버스정차면 용량의 경우 HCM(2013)¹⁾, TCQSM(2013)²⁾과 동일한 산정식을 적용하고 있다. 초(Sec) 단위의 연속된 운행 단위간 차두시간, 소거시간, 정차시간 등이 필요하다. 버스정류장 정차면수 산정시에도 분당 정차대수 및 정차면별 정차대수인 평균 정차회전율이 필요하다. 정확한 용량 및 정차면수 산정을 위해서는 초(Sec) 단위 미시적인 개별 버스 단위의 데이터가 필요한데 이는 ITS 기술을 통해 이용할 수 있다.

노선 인허가 관할청에서 보유하고 있는 행정정보는 노선별 운행

-
- 1) Transportation Research Board(2010), “Highway Capacity Manual”, National Research Council, Washington, D.C.
 - 2) Transportation Research Board(2013), “TCRP REPORT 100:Transit Capacity and Quality of Service Manual-3rd Edition”, National Research Council, Washington, D.C.

경로, 침두시 및 비침두시 인가된 최소운행시격인 배차간격, 운행횟수, 노선운행대수, 첫차 및 막차 운행시간이다. 인가 배차간격을 통해 시간당 정차면당 최대 용량을 산출할 수 있다. <표 1-1>에서와 같이 환승시설 이용 관내 20개 노선을 대상으로 2016년 4월 22일 오전 침두시 (07:00~09:00)시 인가 배차간격 대비 실평균 배차간격 차이를 보면 -1분~33.6분까지로 인가배차간격을 미준수하는 것으로 나타났다. 이는 도로소통상황, 정류장 이용 노선수, 정차시간 등 다양하게 변화하는 실질적인 운행시격을 반영하지 못하고 모든 개별 버스는 동일한 패턴의 도착분포와 정류장 정차시간 등을 가정한 분석이 이루어질 수 밖에 없다. 버스정류장 용량 관리를 위해 인가 배차간격, 운행횟수, 노선운행대수 등을 의사결정 요인으로 사용하는데 다소 무리가 있다고 판단한다.

<표 1-1> 송내 환승시설 이용 관내 20개 노선 배차간격 현황

노선번호	1	700	12-1	15	16	23	23-5	25	27	33	50-1	53	66	673	70	70-3	7-1	7-4	8	83	96	96-1
인가배차간격 (a)(분)	40	12	5	6	5	6	13	9	5	12	8	6	10	14	8	7	6	13	9	7	14	15
실평균배차간격 (b)(분)	56.2	12	5.9	7.7	5.3	10.6	32.1	12.8	6.6	33.9	10.6	7.3	9	13	9.6	7.2	6.5	46.6	15.3	6.6	25	22.1
(b)-(a)(분)	16.2	0	0.9	1.7	0.3	4.6	19.1	3.8	1.6	21.9	2.6	1.3	-1	-1	1.6	0.2	0.5	33.6	6.3	-0.4	11	7.1

기존 선행연구는 현장조사 중심의 데이터를 기반으로 버스정류장과 정차면의 용량 및 정차면수 산정, 승하 · 차시간 및 정차시간 특성치 분석 등의 개별단위 연구결과로 현장조사시 수반되는 시간, 비용, 표본수, 데이터의 신뢰도 등 제약조건이 따르게 된다. 초(Sec) 단위의 개별 차량의 운행패턴을 정확하게 조사하는데도 한계가 있다. 선행 연구 고찰 과정에서 버스정류장 시설의 최적화 운영을 위해 대상 개별 버스(Subject Individual Bus)와 그의 선두 개별 버스(Leader Individual Bus)의 차두시간(Headway), 정차시간 등에 대해 미시적 데이터를 기반으로 한 연구는 거의 이루어지지 않은 것으로 조사 되었다.

손기민(2006)에 따르면 버스정류장에서의 최소운행시격(차두시간)은 소거시간과 평균정차시간을 포함하고 있다. 이는 결국 버스 1대가 정류장을 점유하는 시간이 된다. 실질적인 정차면당 최대 용량을 산출하기 위해서는 초(Sec) 단위의 개별버스 운행 특성을 반영하여 분석하는 것이 좀 더 현실적인 버스운행시격 값을 산출할 수 있다.³⁾

본 연구는 국내에서 시범사업으로 처음 도시부내에 입체형 환승 시설을 구축·운영하는 과정에서 환승시설내 적정한 정류장 시설 규모 결정과 결정된 시설내에 계획된 노선을 배분함에 있어 명확한 가이드라인이나 지침이 충분하지 않아 어려움이 있었던 경험적 배경을 토대로 연구하였다.

첫째, 버스정류장에서 대상 개별 버스(Subject Individual Bus)와 그의 선두 개별 버스(Leader Individual Bus)간에 운행간격(운행빈도)과 승하·차인원 분포 등에 의해 상호작용하게 된다. 이러한 행태를 개별버스 단위로 미시적 수준(Microscopic Level)에서 분석이 필요하다. 다중 버스 정류장을 이용하는 개별 버스를 대상으로 비디오 영상자료, BIS 정류장 이벤트 자료, 검지기 정차면 이벤트 자료 등을 이용할 수 있다. 본 연구에서 활용한 BIS(Bus Information System) 수집 데이터는 개별 버스 단위의 다양한 도로조건, 교통조건, 신호조건 등이 모두 반영되어 버스 정류장에 도착하는 개별 버스의 도착분포를 설명하는데 적합하다. 정확도가 99.9%에 가까운 검지기 수집 정보 역시 개별 버스 단위로 정류장의 정차면에 도착하여 출입문을 개폐하고 승하·차를 위한 서비스시간을 소비한 후 정차면을 출발하기까지의 정차시간을 설명하는데 적합하다.

기존 연구사례에서는 명확한 설명이나 기준 없이 정차시간 및 차두시간의 분포모형을 제시하거나 가정을 기반으로 하여 분석하는 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 BIS 및 검지기 데이터를 통해 버스정류장에서 개별 버스의 정차시간과 차두시간에 대한 특성치를 분석하고 개별 차량의 미시적 데이터를 기반으로 의미 있는 분포모형을 제시하였다. 모형 검증에 있어서도 검지 데이터를 이용하여 검증하였으며 검증된 분포모형을 이용하여 송내 환승시설의 적정 시설규모(정차면수)에 대하여 평가하여 실무에 활용할 수 있도록 하였다.

둘째, 적정 규모의 시설 제공으로 운영체계를 최적화하는 것이 필요하다고 판단하였다. 대부분의 노선 인허가 관할청은 버스정류장에 노선 인허가시 담당자의 주관적인 판단에 의존하는 경우가 많다. 실무적으

3) 손기민(2006), “버스용량산정 용어 개념”, 대한교통학회, 교통기술과정책, 제3권 제2호

로는 단순히 노선수, 배차간격, 버스 이용자의 요구사항 등을 반영하여 결정하는 경우가 일반적이다. 이로 인해 버스정류장의 혼잡도가 가중되고 본선 교통류 소통에 장애가 되며 노선에 대한 굴곡도가 심해지는 결과를 초래하는 한편 이용자에 대한 서비스 수준과 운영 효율성도 저하 될 수 있다. 명확하고 객관적인 절차 마련이 필요하다. 대부분의 실무현장에서는 제한된 정보와 시간적 제약으로 모든 변수와 조건을 반영하여 가장 이상적인 최적의 해를 구할 수 없기 때문에 인허가시 관리하는 행정자료와 현장조사 자료를 토대로 의사결정을 하게 된다. 본 연구에서는 송내 환승시설내 3개 버스정류장에 22개 노선을 배분하는 문제에 대하여 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」을 적용하여 노선 이용자의 이용편의 고려하기 위해 노선경로 특성을 분석하여 대안을 마련하였다. 대안별 노선수, 진입대수, 정차시간이 정류장별 균등하게 배분되는 노선배분 계획을 선정하는 휴리스틱(Heuristic)⁴⁾ 접근방법을 단계별로 제시하여 실무현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 하였다.

셋째, 1967년 경제기획원 조사통계국에 도입된 IBM 1401과 생산성 본부에 도입된 후지쯔 신기제작주회사의 파콤 222가 우리나라 컴퓨터의 시작이었다. 각 시대별로 가장 고속의 연산 속도로 설계된 과학 기술 전용 컴퓨터가 발전해 가면서 수천 개의 프로세서를 통해 1초당 10억 부동소수점 연산 횟수를 실행하는 슈퍼컴퓨터가 모든 분야에 걸쳐 이용되어 의사결정을 하는 등의 기술혁신은 교통분야에도 정보통신 기술을 접목하여 교통체계의 운영·관리를 과학화하고 자동화하는 ITS(Intelligent Transport System)의 도입 계기가 되었다. ITS발전에 따라 2000년 국내에서 BIS를 최초로 도입한 도시는 부천시이다. 부천시 BIS 도입을 계기로 현재 전국 150여개 지자체가 BIS를 통하여 버스도착예정정보를 제공 할뿐만 아니라 버스 운행 이력정보를 통해 정확한 데이터 기반의 운수행정이 가능해졌다.

ITS 발달로 인해 버스정류장에서 검지시스템(BIS 및 검지기)으로부터 수집되는 초(Sec) 단위의 개별 버스에 대한 운행패턴 데이터를 토대로

4) 의사결정과정 단순화한 지침. 제한된 정보와 시간제약을 고려해 가장 이상적인 방법을 구하는 것이 아니라 실무상 현실적으로 만족할 만한 수준의 해답을 찾는 것

전체 버스정류장의 총 대기시간을 최소화(Minimize)하는 노선배분 해를 찾기 위해 최적화 모형을 제시하였다. 모형에서 버스 이용자의 버스 노선 이용 편의를 고려하기 위해 유사 경로 노선을 동일 구역에 배분하는 조건을 고려하는 경우와 이용자의 노선 이용 편의를 고려하지 않고 모든 경우의 수(0~31,381,059,609)를 대상으로 하는 수리적 모형을 알고리즘으로 구현(Programming)하였다. 데이터 처리시간 단축을 위해 분산 컴퓨팅(Distributed Computing) 기술을 활용하였다.

결과적으로 본 연구에서는 실시간으로 운행하는 개별 버스 단위의 미시적 운행행태를 수집시스템(BIS, 검지기 등)으로부터 데이터를 구축하여 첫째, 버스정류장에서의 개별 버스의 도착분포(차두시간)와 정차면에서의 서비스시간분포(정차시간)에 대한 특성치를 분석하고 분포모형을 제시하여 실무현장에서 적정 정차면수를 평가하는데 활용할 수 있도록 하였다.

둘째, 정류장 이용 효율을 최적화하기 위한 노선배분에 있어서는 실무현장에서 쉽게 활용할 수 있는 휴리스틱 접근방법과 버스 이용자의 노선 이용 편의를 고려하는 경우와 미고려하는 경우에 대해 전체 정류장의 총 대기시간이 최소가 되는 노선배분 해를 목적함수로 하는 최적화 모형에 대해 알고리즘을 구현하여 제시하였다. 실무현장에서 버스정류장 노선운영 계획시 각 여건에 따라 선택하여 활용할 수 있으리 판단한다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1일 평균 10만명이 이용하는 송내 환승시설은 경기도 부천시 소사구 송내동에 위치한다. 송내역 광장내 평면상 로터리체계에서의 정류장내 혼잡 및 교차로 꼬리물기로 인한 본선 소통 장애와 버스이용자와 버스와의 상충으로 인한 교통안전상 등의 문제점을 개선하고 지하철 역사까지 접근성이 떨어져 환승거리를 단축하는 동시에 이 공간을 시민의 커뮤니티 공간으로 전환하는데 목적을 가지고 부천시는 생활교통복지 개선사업의 일환으로 2010년부터 2016년까지 국내 처음으로 도심내에 입체형 환승시설로 환승체계를 개선하였다.

본 연구에서는 <그림 1-1>과 같이 송내 환승시설내 다중 버스정류장을 공간적 범위로 하였으며 버스전용도로로 고시되어 운영되고 있다.

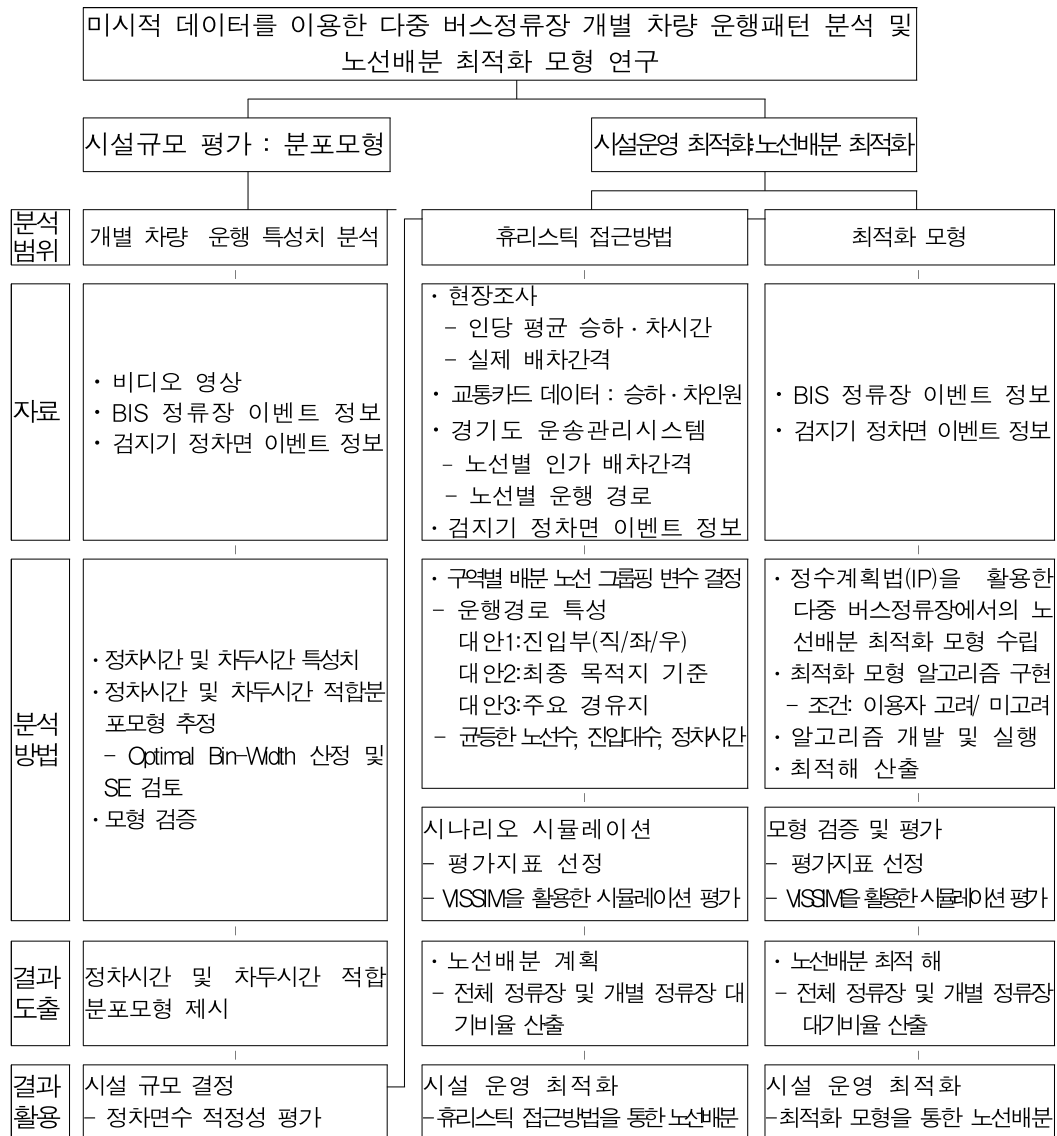


<그림 1-1> 연구의 공간적 범위

본 연구의 내용적 범위와 수행절차는 <그림 1-2>와 같다. 송내 환승시설 다중 버스정류장에 실시간으로 도착하는 개별 버스의 도착분포와 승하·차를 위한 정차시간에 대하여 특성치를 분석하였다. 정차시간 및 차두시간 적합분포를 선정하기 위해서 선행 연구에서 검토되어진 5가지 분포(정규, 일랑, 균일, 지수, 감마)를 토대로 MISE(Mean Integrated Square Error)가 최소가 되는 Optimal Bin-width 적용후 각 분포별 SE(Square Error)값으로 적합 분포모형을 추정하였다. 추정 분포모형을 검증하기 위해 수집데이터를 이용하였으며 적정 정차면 용량에 대하여 평가하여 제시하였다.

물리적으로 한정된 정류장에 노선을 배분함에 있어 버스정류장 이용 효율을 높이기 위해 실무현장에서는 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」을 적용하여 노선별 운행경로 특성을 분석하여 대안을 수립하였다. 대안별 노선수, 진입대수, 정차시간을 검토하여 구역별 균등한 대안을 선정하는 휴리스틱 접근방법과 버스 노선 이용자의 노선 이용 편의를 고려하기 위해 유사경로 노선을 동일구역에 배분하는 조건을 고려시, 미고려시로 구분하여 이상적인 대안을 제시하기 위해 정수계획법을 활용하였다. 전체 버스정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 해를 찾는 최적화 모형을 제시하였다.

모형을 검증하기 위해 전체 정류장의 총 대기비율을 평가지표로 선정하고 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 평가하였다.



〈그림 1-2〉 연구의 내용적 범위와 수행절차

제3절 연구의 수행체계

본 연구의 수행체계는 <그림 1-3>과 같다. 2장에서는 본 연구에서 사용하는 용어에 대한 정의, 차두시간 및 정차시간에 대한 이론적 내용과 분포모형을 고찰하였다. 정수계획법을 이용한 최적화 모형에 대한 이론적 고찰과 선행연구를 바탕으로 기존 선행연구결과의 검증이 필요한 부분을 도출하고 본 연구의 차별성과 기여를 제시하였다.

3장에서는 다중 버스정류장내 개별 차량 운행패턴 특성치를 분석하였다. 이를 반영하는 정차시간 및 차두시간 분포모형 선정을 위해 개별 버스 단위의 운행패턴을 BIS 정류장 이벤트 자료 및 검지기 정차면 이벤트 자료를 토대로 하였다. MISE가 최소인 Optimal Bin-width를 적용하여 추정 분포모형의 SE값을 토대로 적합 분포모형을 선정하였다. 분포모형 검증에 있어서도 BIS 및 검지기 데이터를 이용하였다. 적합 분포모형을 통해 본 연구의 송내 환승시설 정차면수에 대한 적정성에 대하여 평가하여 실무에 적용할 수 있도록 하였다.

4장에서는 실무현장에서 제한된 정보와 시간적 제약으로 가장 이상적인 최적의 해를 구할 수 없기 때문에 휴리스틱한 방법으로 의사결정을 할 수 밖에 없다. 실무현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 하기 위해 환승 시설 대중교통 운영지침인 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」의 시설의 배치기준에서 대중교통 연계수송형 환승센터내 환승 시설 등 배치기준을 적용하여 이용자 이용 측면을 고려한 노선의 운행 경로 특성분석을 통한 대안을 선정하였다. 대안별 노선수, 정차시간, 진입대수의 균등한 배분을 기준으로 검토한 후 최종 노선배분계획을 선정하였다. 대안별 평가를 위해 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션 하였다. 전체 정류장의 총 대기비율을 평가지표로 하여 평가하였다.

5장에서는 다중 버스정류장내 노선배분에 대한 최적화 문제에 의사 결정변수를 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간으로 정의하였다. 정수 계획법을 이용하여 노선배분시 버스 이용자의 노선 이용 편의를 고려하기 위해 유사경로 노선은 동일 구역에 배분하는 제약조건을 고려시, 미고려시로 구분하였다. 다중 버스정류장의 총 대기시간이 최소가 되는 해를 제시하였다. 모형의 입력값은 개별 버스의 초(Sec)단위 운행패턴을 미시적 수준에서 반영하고자 버스정류장에 도착시간은 BIS 정류장 도착 이벤트 정보, 정차시간은 정차면 검지기 진출입 이벤트 정보를 이용하였다. 이에 대한 알고리즘을 구현하기 위해 C언어로 프로그래밍(Programming)하였으며 빠른 데이터 처리를 위해 분산 컴퓨팅하여 최적

해를 제시하였다.

6장에서는 제4장의 휴리스틱 접근방법과 제5장의 수리적 모형에 의해 산출된 노선배분 해를 시나리오로 하여 사후적 평가 및 검증하기 위해 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션 하였다. 대기비율을 평가 지표로 하여 평가하였다.

마지막으로 7장에서는 본 연구의 결론 및 시사점, 제시된 모형 및 값의 활용방안, 연구결과의 한계 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

제1장. 서론	<ul style="list-style-type: none"> · 연구의 배경 및 목적 · 연구의 범위 및 방법 · 연구의 수행체계
제2장. 이론 및 선행연구 고찰	<ul style="list-style-type: none"> · 용어의 정의 · 버스정류장, 정차면 용량이론 고찰 · 차두시간 및 정차시간 분포모형 이론 고찰 · 정수계획법 고찰 · 선행연구 고찰 · 시사점 도출
제3장. 정차시간, 차두시간 특성 분석 및 분포모형 선정	<ul style="list-style-type: none"> · 버스정류장에서의 정차시간 및 차두시간 특성 분석 · MISE로 Optimal Bin-width를 적용하여 정차시간 및 차두시간 분포모형 추정 · 분포모형 검증 및 선정 · 정차면 용량 적정성 평가
제4장. 실무현장에서의 휴리스틱 접근방법에 의한 노선배분	<ul style="list-style-type: none"> · 노선경로 특성에 따른 대안 작성 · 대안별 노선수, 진입대수, 정차시간 균등배분 대안 선정 · 대안별 시뮬레이션 · 평가지표 제시 · VISSIM 시뮬레이션을 활용한 최적 노선배분계획 결정
제5장~제6장. 정수계획법을 이용한 노선 배분 최적화 모형 연구 및 모형 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 다중 버스정류장에서의 최적화 모형 수립 · 최적화 모형 알고리즘 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 조건 : 이용자 유사노선 이용 편의 고려/미고려 · 알고리즘 프로그래밍 및 최적해 산출(분산 컴퓨팅) · 평가지표 제시 · VISSIM 시뮬레이션을 활용한 최적화 모형 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 - 최적화 모형-이용자 고려시 노선배분 - 최적화 모형-이용자 미고려시 노선배분
제7장. 결론 및 향후 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 결론 · 적용방안 및 향후 연구

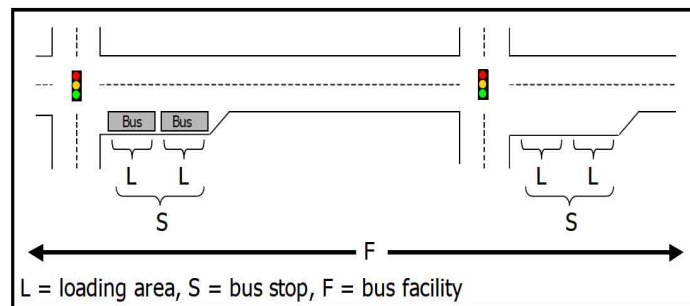
〈그림 1-3〉 연구 수행체계

제2장 이론 및 선행연구 고찰

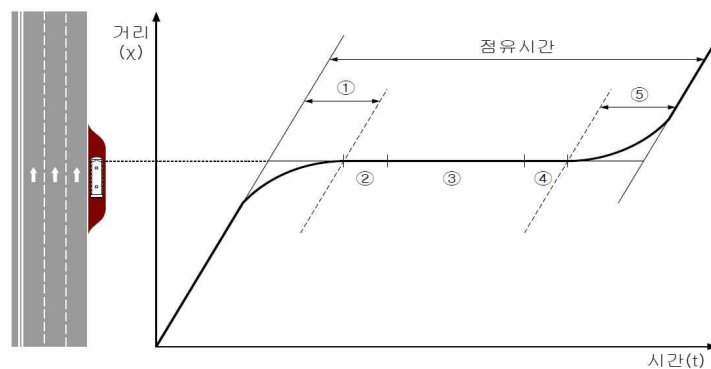
제1절 버스정류장 및 정차면 용량 산정이론 고찰

1. 용어 정의

KHCM(2013)에서는 버스 정차면 또는 정류장의 용량에 영향을 주는 요소들 중 가장 중요한 요인은 버스의 정차면 점유시간으로 정의한다. 버스의 점유시간은 정차면에 진입하기 위한 차량의 감속 및 진입시간, 출입문 개폐시간, 승객 승하·차시간과 본 도로로 진입시간 등으로 구성된다. <그림 2-1>은 버스 정차 및 정류장 시설구성을 나타낸다. <그림 2-2>와 <그림 2-3>은 버스정류장에서의 버스 궤적과 정류장에서의 버스의 점유시간의 구성을 나타낸다.



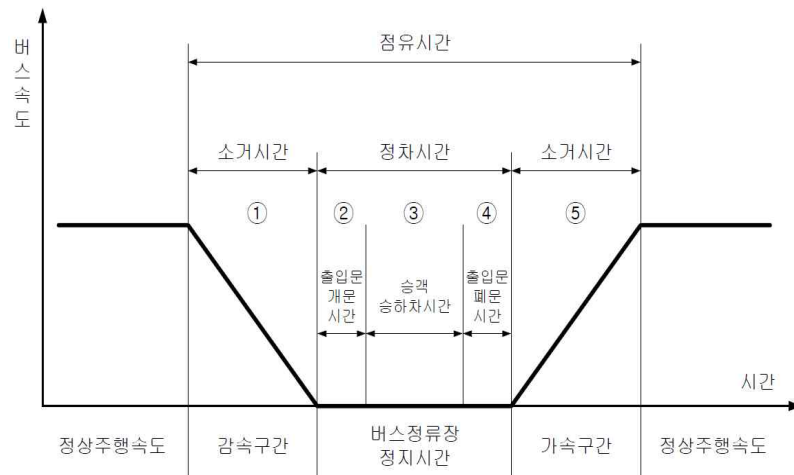
<그림 2-1> 버스 정차 및 정류장 시설 구성⁵⁾



<그림 2-2> 시공도상 버스정류장에서의 버스궤적⁶⁾

5) Transportation Research Board(2013), “TCRP REPORT 100:Transit Capacity and Quality of Service Manual-3rd Edition”, National Research Council, Washington, D.C.

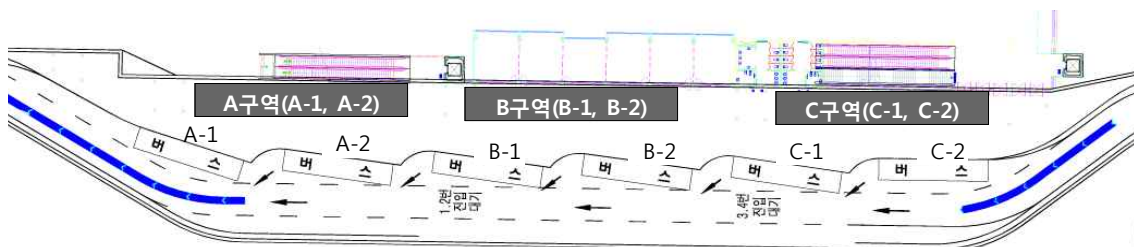
6) 국토교통부(2013), “도로용량편람(KHCM)”, p.590



〈그림 2-3〉 버스정류장에서의 버스의 점유시간 구성⁷⁾

본 연구에서 사용되는 용어에 대하여 정리하면 다음과 같다.

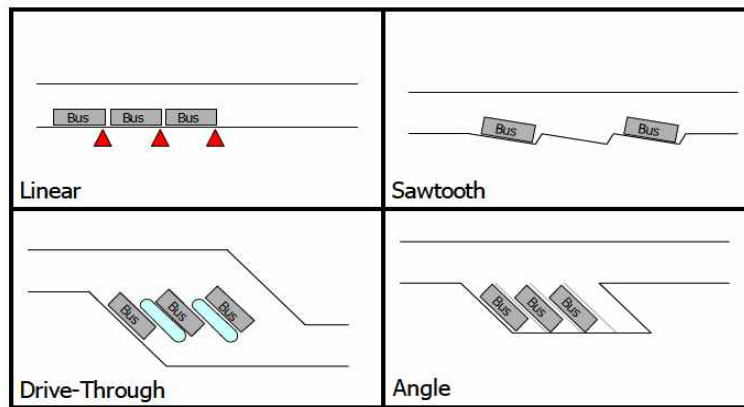
- 다중 버스정류장 : 〈그림 2-4〉와 같이 본 연구의 공간적 범위에 해당하는 송내 환승시설에 적용한 2개의 톱니형 정차면을 하나의 정류장 개념으로 정의함에 따라 A구역, B구역, C구역을 단일 버스정류장이 아닌 다중 버스정류장이라 정의
 - 정류장 ID : A구역(11555), B구역(11556), C구역(11557)
- 다중 정차면(B) : 다중 버스정류장내 각 정류장별 2개의 톱니형 정차면을 1개 노선이 공유하게 되는데 A구역에 정차면 A-1, A-2, B구역에 정차면 B-1, B-2, C구역에 정차면 C-1, C-2로 하여 이를 다중 정차면으로 정의



〈그림 2-4〉 다중 버스정류장 및 톱니형 정차면 설치 현황

7) 전게서, “도로용량편람(KHCM)” , p.590

- 톱니형 정차면 : TCQSM(2013)에서 <그림 2-5>와 같이 버스정류장 형태를 분류하고 있다. 톱니형 정차면은 연석으로부터 톱니형식으로 베이를 설치하여 버스의 이동 동선을 원활히 하고 이중정차 방지를 통해 버스 대기 및 지체를 감소하며 R=6m이상 회전반경으로 후진 없이 추월차로에 진입이 가능한 형태이다. 동시에 버스차로내 무단 승·하차 발생도 방지할 수 있는 장점을 가지고 있음



<그림 2-5> 버스정류장 유형

- 점유시간(O_t) : <그림 2-6>에서와 같이 한 버스가 버스 정류장에 도착하여 점유하고 있는 시간으로 정차시간과 소거시간의 합이다. 정차면을 이용하는 버스의 최소 차두시간 되기도 하는데 다음과 같다.

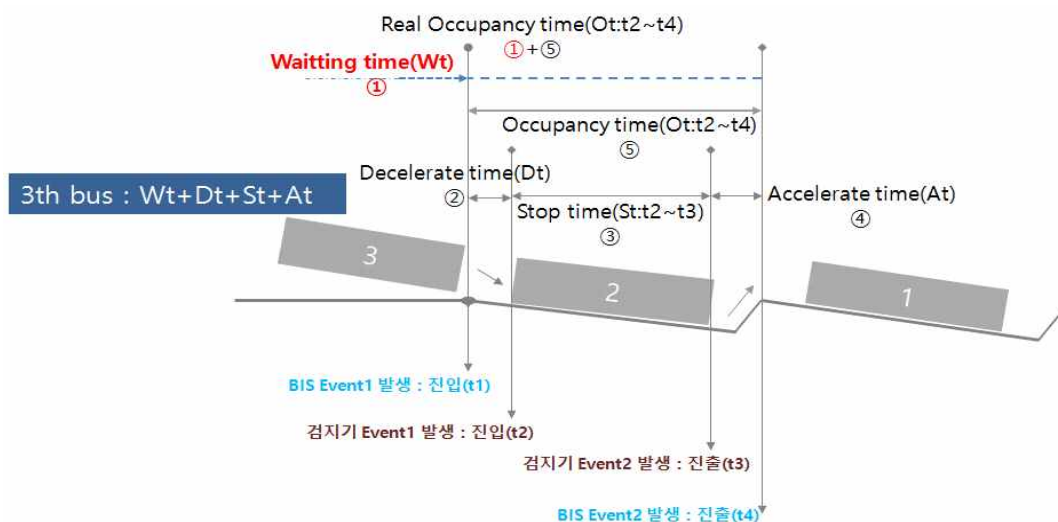
$$O_t = D_t + S_t + A_t$$

버스정류장에 도착했을 때 선 도착 버스가 정차면을 모두 사용하고 있어 대기해야하는 경우일 때의 버스의 실제점유시간은 (RO_t)는 다음과 같다.

$$RO_t = W_t + D_t + S_t + A_t$$

- W_t : 정류장에 도착했을 때 선 도착 버스가 정차면을 모두 점유하고 있어 대기하는 시간(①)
- D_t : 정차면에 진입하기 위한 감속시간(②)
- S_t : 승객의 승하차를 위해 출입문을 개폐하는데 걸리는 시간과 승객 승하차 시간을 반영하는 정차시간의 합(③)
- A_t : 정차면을 사용한 후에 다음 버스가 이용할 수 있도록 비워주기 위해 소요되는 가속시간(④)

- 정차시간(S_t) : <그림 2-6>에서 출입문 여는 시간 + 승객 승하차시간 + 출입문 닫는 시간에 해당되며 버스정류장에 정차해 있을 동안의 시간으로 버스의 바퀴가 멈추었다 출발하는 사이의 시간(③)
- 소거시간($D_t + A_t$) : <그림 2-6>에서 버스가 정류장의 빈 정차면에 진입하는데 소요되는 시간과 정차면을 사용한 후에 다음 버스가 이용할 수 있도록 비워주는데 소요되는 시간의 합으로서 버스가 정차면에 진·출입하는데 필요한 감·가속시간(②+④)



<그림 2-6> 버스정류장에서의 개별 버스 도착 및 정차시간 수집체계

2. 정차면 및 정류장 용량

대중교통과 관련하여 용량분석 방법론에 대해 미국을 비롯하여 몇몇 나라에서 다루고 있으나 대부분이 미국의 기준을 그대로 따르고 있는 상황이다. 우리나라의 경우에도 미국의 사례를 반영하고 있는 실정이다. 본 연구에서 참고하는 외국 사례를 미국의 용량편람으로 제한하였다.

1) 정차면에 대한 용량 산정(HCM)⁸⁾

정차면에 대한 용량은 정류장에 인접한 교차로의 직진방향 유효녹색 시간의 비율, 버스의 정류장 평균정차시간, 출발하기 위해 출입문을 닫은 후부터 주행차로로 복귀하는 데 걸리는 시간(clearance time), 버스 정류장 뒤로 버스대기차량 발생가능성, 정차시간에 대한 변동계수 등을 고려하여 산정한다. 용량산정에 있어 여러 고려요소 중 버스의 정류장 평균정차시간이 가장 큰 영향을 미친다. 평균정차시간은 기본적으로 내리고 타는 승하 · 차인원과 요금지불방식, 출입문의 수 등에 의해 좌우된다. 1개 정차면의 시간당 최대 버스 처리대수는 식(2-1)과 같이 산정한다.

$$B_l = \frac{3,600(g/C)}{\{t_c + t_d(g/C) + Z_a c_v * t_d\}} \quad \Delta(2-1)$$

여기서 B_l = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수 (vph)
 g/C = 교차로의 유효녹색시간 비율
 t_d = 평균정차시간 (dwell time, 초)
 t_c = 소거시간 (clearance time, 초)
 Z_a = 대기행렬이 발생하지 않을 가능성에 상응하는 변량
 c_v = 정차시간에 대한 변동계수(표준편차 ÷ 평균 × 100)

(1) 버스 평균정차시간(t_d)

버스의 평균정차시간은 기존에 운영중인 버스노선의 정차시간 평가에 적용할 수 있는 현장측정방법, 승하 · 차인원을 추정할 수 없는 장래 계획에 적용시에 기본값(CBD, 대중교통센터, 주요 환승정류소 : 60초,

8) Transportation Research Board(2010), "Highway Capacity Manual", National Research Council, Washington, D.C.

외곽의 주요 정류소 : 30초, 외곽 정류소 : 15초)을 적용하고 승하·차 인원이나 추정치를 알 수 있을 때는 계산에 의한 방법으로 식(2-2)와 같이 산정할 수 있다.

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad \Delta(2-2)$$

여기서 t_d = 평균정차시간 (초)
 P_a = 침두15분 동안 버스당 하차객수(인) : 가장 혼잡한 문
 t_a = 승객하차시간 (초/인)
 P_b = 침두15분 동안 버스당 승차객수(인) : 가장 혼잡한 문
 t_b = 승객승차시간 (초/인)
 t_{oc} = 출입문 개폐시간(초)

(2) 소거시간(t_c)

버스베이(off-line bus stop)에서 출발한 버스가 주행차로로 복귀하는데 소요되는 시간을 소거시간(Clearance Time)으로 정의한다. 소거시간은 출발을 시작해서 정류장을 벗어나기 위해 버스의 길이만큼 이동하는데 걸리는 시간과 인접차로 교통량에 영향을 받는 주행차로 재진입 시간으로 구성된다. 일반적으로 출발해서 버스의 길이만큼 이동하는데 걸리는 시간은 10초로 제시되었다. 인접차로의 교통량에 의한 평균 주행차로 재진입 지연시간은 <표 2-1>과 같다. 출발 후 소요시간과 주행차로 재진입 소요시간을 포함한 총 소거시간은 다양한 연구결과에서 9초~20초의 편차를 보이고 있어 현장 조사를 통해서 적용할 수 있다.

<표 2-1> 주행차로 재진입 지연시간⁹⁾

인접차로 교통량 (veh)	Average Re-Entry Delay (sec)	인접차로 교통량 (veh)	Average Re-Entry Delay (sec)
100	1	600	6
200	2	700	8
300	3	800	10
400	4	900	12
500	5	1,000	15

9) 전게서, Transportation Research Board(2010)

(3) 정차시간 변동계수(C_v)

정차시간 변동계수(Coefficient of variation of dwell times)는 정차시간의 편차를 나타낸다. 정차시간의 표준편차와 평균을 비교하여 변동계수의 값을 식(2-3)과 같이 산정한다. 만약 C_v 의 값이 0인 경우에는 정차시간이 모두 동일한 것이다. C_v 값이 1인 경우에는 최대 정차시간으로 정차하는 것을 의미한다. 일반적으로 C_v 값은 여러 미국의 도시들을 관측한 결과, 0.4~0.8의 값을 보이며, 0.6값을 평균적으로 적용할 수 있다.

$$\text{정차시간 변동계수}(C_v) = (S/X) \times 100\% \quad \text{식(2-3)}$$

여기서 S = 정차시간 표준편차, X = 평균 정차시간

(4) Failure rate와 Z_a

Failure Rate는 버스정류장 뒤편에 버스대기차량이 발생할 가능성을 나타낸다. Z_a 와 Failure Rate의 관계는 <표 2-2>와 같다. Z 에 대한 제안 값은 도심(CBD)정류장은 1.440~1.040, 외곽정류장은 1.960을 적용한다.

<표 2-2> Failure rate와 Z_a 의 관계¹⁰⁾

Failure Rate	Z_a	Failure Rate	Z_a
1.0%	2.330	15.0%	1.040
2.5%	1.960	20.0%	0.840
5.0%	1.645	25.0%	0.675
7.5%	1.440	30.0%	0.525
10.0%	1.280	50.0%	0.000

2) 버스정류장에 대한 용량 산정(HCM)

일반적으로 버스정류장은 여러 개의 정차면이 연속되어 있는 관계로 1면에 대한 용량에 정차면수를 곱하는 것보다는 처리용량이 떨어진다. 식(2-4)는 정류소 형태와 정차면수에 따른 효율을 나타낸 것이다. 버스정류장의 이용효율은 <표 2-3>과 같다.

10) 전게서, Transportation Research Board(2010)

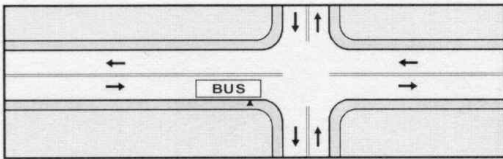
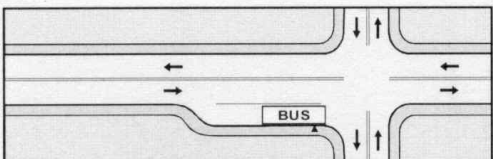
$$B_s = N_{el} B_l = N_{el} \frac{3,600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Z_a c_v t_d} \quad \text{식(2-4)}$$

여기서 B_s = 버스정류장 용량

N_{el} = 버스정차면 이용효율

B_l = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수 (vph)

〈표 2-3〉 버스정류장의 이용효율(다수 정차면)¹¹⁾

정 차 면	On-Line 정류장				Off-Line 정류장	
	임의 도착		군집 도착		효율(%)	유효정차 면수(Neb)
	효율(%)	유효정차 면수(Neb)	효율(%)	유효정차 면수(Neb)		
1	100	1.00	100	1.00	100	1.00
2	75	1.75	85	1.85	85	1.85
3	70	2.45	80	2.65	80	2.65
4	20	2.65	25	2.90	65	3.25
5	10	2.75	10	3.00	50	3.75
형 태						

3) 정차면에 대한 용량 산정(KHCM)¹²⁾

KHCM(2013)에서는 대중교통시설 중 버스정차면 용량의 서비스수준을 평가하기 위해 현장에서 구한 값들을 기초로 하고 있다. 통행로가 연속류인지 아니면 도시고속도로나 버스전용도로상의 단속류 시설이 없는 연속류로 되어 있는지 판단하여 적용하게 된다.

(1) 연속류상 정차면의 차량용량

연속류상 한 정차면에서 시간당 처리되는 버스의 용량은 식(2-5)와

11) 전게서, Transportation Research Board(2010)

12) 전게서, “도로용량편람(KHCM)”

같다. 정류장 버스대기비율에 따른 정차면 용량 산출 보정계수는 <표 2-4>와 같다. 일반적으로 대부분의 도시지역에서 현실적으로 가능한 최대 정류장 버스대기 비율 t_R 의 값은 25%정도로 관측되고 있다. 설계시에 적용하는 t_R 값의 권장치는 도시지역에서 10%내외, 외곽지역에서 5%내외 정도이다.

$$B_l = \frac{3,600R}{h} = \frac{3,600R}{t_c + t_d} \quad \Delta(2.5)$$

여기서 B_l = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수 (vph)
 h = 연속된 운행단위의 차두시간(초)
 t_c = 소거시간 (clearance time, 초)
 t_d = 평균정차시간 (dwell time, 초)
 R = 정차면 용량 보정계수

<표 2-4> 정류장 버스대기비율에 따른 정차면 용량 산출 보정계수(R)¹³⁾

t_R	1%	2.5%	5%	7.5%	10%	15%	20%	25%	30%	50%
R	0.682	0.718	0.752	0.776	0.81	0.84	0.87	0.89	0.91	0.95

(2) 단속류상 정차면의 차량용량

단속류상 한 정차면의 시간당 차량용량은 식(2-6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_l = (g/C) \frac{3,600R}{h} = (g/C) \frac{3,600R}{t_c + t_d(g/C)} \quad \Delta(2.6)$$

여기서 B_l = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수 (vph)
 h = 연속된 운행단위의 차두시간(초)
 t_c = 소거시간 (clearance time, 초)
 t_d = 평균정차시간 (dwell time, 초)
 g/C = 교차로의 유효녹색시간 비율
 R = 정차면 용량 보정계수

13) 전게서, 국토교통부(2013), p.599

4) 정류장 용량 산정(KHCM)

정류장 용량 산정은 정차면 용량 산정후 정차면수 또는 정류장 길이 조사를 통해 분석이 가능하다. 우리나라는 <표 2-5>와 같이 버스정류장의 경험적인 정차대수(정차면수 또는 정류장 길이)에 따른 이용효율을 반영한다.

<표 2-5> 경험적인 버스 정차대수에 따른 이용효율¹⁴⁾

정차면수(정류장 길이)	정 류 장	
	정차면 효율증가(%)	이용효율계수
1(24m 미만)	100	1.00
2(24m 이상)	75	1.75
3(36m 이상)	50	2.25
4(48m 이상)	30	2.55
5(60m 이상)	10	2.65

(1) 연속류상 정류장의 차량 용량 산정식은 식(2-7)과 같다.

$$c_B = c_b \times N = \frac{3,600 NR}{h} = \frac{3,600 NR}{t_c + t_d} \quad \Delta(2-7)$$

(2) 단속류상 정류장의 차량 용량 산정식은 식(2-8)과 같다.

$$c_B = c_b \times N = (g/C) \frac{3,600 NR}{h} = (g/C) \frac{3,600 NR}{t_c + t_d (g/C)} \quad \Delta(2-8)$$

여기서 c_B = 정류장당 시간당 최대차량수
 c_b = 정차면당 시간당 최대차량수
 N = 정차면 수(또는 정차면 길이)에 따른 이용효율계수
 h = 연속된 운행단위의 차두시간(초)
 t_c = 소거시간 (clearance time, 초)
 t_d = 평균정차시간 (dwell time, 초)
 g/C = 교차로의 유효녹색시간 비율
 R = 정차면 용량 보정계수

14) 전게서, 국토교통부(2013), p.600

5) 정차면 용량 산정(환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준)¹⁵⁾

환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준(2015)에 따르면 버스정차면 1면당 용량(시간당 버스처리대수)은 50대를 기준으로 한다. 녹색신호 주기, 버스의 평균정차시간 등의 관측치를 구하여 식(2-9)와 같이 산정한다. HCM(2010)기준을 동일하게 적용하고 있다.

$$B_l = \frac{3,600(g/C)}{\{t_c + t_d(g/C) + Z_a c_v * t_d\}} \quad \Delta(2-9)$$

여기서 B_l = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수 (대/h)
 g/C = 교차로의 유효녹색시간 비율
 t_d = 평균정차시간 (dwell time, 초)
 t_c = 소거시간 (clearance time, 초)
 Z_a = 대기행렬이 발생하지 않을 가능성에 상응하는 변량
 c_v = 정차시간에 대한 변동계수(표준편차÷평균 × 100)

환승센터 및 복합 환승센터 내부 등 교통신호와 다른 교통의 영향을 받지 않는 곳에 설치하는 버스정류장은 분당 버스정차대수를 평균 정차회전율로 나누어 필요한 정차면수 산정은 식(2-10)과 같다.

$$P_b = \frac{V_b}{T_b} \quad \Delta(2-10)$$

여기서 P_b = 버스정류장의 정차면수(면)
 V_b = 분당 버스정차대수(대/분)
 T_b = 평균 정차회전율(대/면/분)

3. 차두시간 및 정차시간 이론 고찰

Jowett, D.(1972)는 정차시간을 정지시간으로부터 출발시간까지의 합으로 정의하였다. 정지시간은 버스 문이 열기를 마쳤을 시점부터 바퀴가 출발 할 때까지의 시간을 사용하였다. 정차시간은 버스정류장에

15) 국토교통부(2015), “환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준”

도착해서 첫 번째 승객이 요금을 지불하는 순간과 마지막 승객이 요금을 지불하고 떠나기 전까지의 시간이라 정의하였다.¹⁶⁾ Cundill, M.A. · Watts, P.F.(1973)는 정차시간을 바퀴가 정지할때부터 바퀴가 출발 할 때까지의 의미와 동일한 각 정류장에서 이동 없이 소비된 시간이라고 정의하였다. 만일 버스가 승하·차를 마친 후에 교통조건 때문에 움직이지 못한 동안의 시간이 포함한다면 단지 자료의 이러한 시간은 승차의 특성을 결정하는데 사용되어지는 요소에 의해 영향을 받지 않는다고 하였다. ¹⁷⁾ Hoey, W.F. · Levinson, H.S.(1975)는 버스의 정차시간은 승객의 승하·차를 통해 차두간격의 대부분을 차지하고 있으므로 소거시간과 함께 버스 정류장 용량 산정에서 차두간격 설정을 위한 중요한 변수로 작용하고 있다. 정차시간은 버스가 정류장에 정차해 있을 동안의 시간으로 버스의 바퀴가 멈추었다 출발하는 승하·차시간의 합이라고 정의하였다.

버스의 정차시간은 승차수요와 하차수요 또는 총 환승 승객수요에 의해 결정된다. 버스의 정차시간은 승하·차 인원 에 비례하고 버스의 평균 정차시간은 일반적으로 침두시 20초 미만으로 보았다. 주요 교차지점, 터미널, 전철역 부근 등에서는 30~60초, 혼잡한 CBD의 평균 정차시간은 50~60초로 제시 하였다. 일반적으로 차두시간은 특정한 지점을 통과하는 연속된 차량의 통과시간 간격을 말한다. 앞차의 앞부분과 뒤 차의 앞부분까지의 시간 간격이다. 그러므로 평균 차두시간은 평균 교통류율의 역수이다. 평균 교통류율과 차두시간간에는 식(2-11)과 같은 관계가 있다.¹⁸⁾

$$\bar{h} = \frac{3600}{\bar{q}} \quad \Delta(2-11)$$

여기서 \bar{h} = 평균 차두시간(초), \bar{q} = 평균 교통류율(vph)

16) Jowett, D.(1972), "Boarding Rates and Stop Times of One-Man Operated Buses", Operations Research Report R187, London Report.

17) Cundil, M.A. · Watts, P.F.(1973), "Bus Boarding and Alighting Time" Report LR 521, Great Britain Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

18) Hoey, W.F. · Levinson, H.S.(1975), "Bus Capacity Ananylsis", Transportation Research Record 546, TRB, Washington D.C.

차두시간은 고정된 지점을 기준으로 각각 다른 특성을 가진 교통류를 정해진 시간동안 측정하여 조사한다. 측정된 차두시간은 일정한 차두시간 간격으로 분류할 수 있다. 버스정류장에서의 정차시간 및 차두시간에 대한 모형 관련 기존 선행연구는 제한적이며 명확한 기준 없이 정차시간 분포모형에 대하여 HCM(2010)과 TCQSM(2013)에서는 평균과 표준편차만을 제시하고 정규분포로 정의하고 있어 정차시간에 대한 명확한 모형을 연구하는 것이 필요하다. 차두시간 분포를 이용하여 용량을 산정할 수 있는데 차두시간을 분포를 이용하는 방법은 각 차량간 차두시간 또는 거리를 사용하여 용량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 용량상태에서 모든 차량의 통행속도는 제약을 받는다는 가정을 기반으로 있다. 일정한 시간(T)동안 평균 차두시간이고 평균통행량은 식(2-12)와 같이 유도할 수 있다.

$$h_m = \sum_i h_i / n \quad \Delta(2-12)$$

$$q = n / T = 1 / h_m, \quad q = 3600 / h_m$$

여기서 h_m = 평균차두시간(초)

h_i = 각 차량별 차두시간(초)

q = 교통량(대/시)

n = T시간동안 통과한 총 차량 댓수

T = 관측시간(초)

교통량이 증가함에 따라 차량 간 상호작용이 증가하기 때문에 차두시간 분포의 형태는 교통량 수준별로 다르다. 일반적으로 차두시간 분포는 낮은 교통량 수준의 경우 무작위 차두시간 분포, 높은 교통량 수준의 경우 균일분포로 구분 된다. 무작위 차두시간 형태는 어느 시간대에 한 지점에 도착하는 차량은 같은 지점에 도착하는 다른 차량에 영향을 주지 않는 특성을 나타낸다. 대표적인 수학적 모델은 교통류내에서의 차두시간 분포는 정규분포를 갖는 속도와는 달리 음지수(Negative exponential Distribution) 분포를 갖는다. 음지수분포의 확률밀도 함수는 식(2-13)과 같다.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \Delta(2-13)$$

여기서 $f(t)$ = 확률밀도함수
 λ = 평균 차두시간(초)
 t = 차두시간(초)

교통량이 용량에 접근하면 차량은 거의 균일한 차두시간으로 통행하는 균일 차두시간 형태를 나타낸다. 평균 차두시간에 대하여 대칭이고 종 모양의 분포를 가진다. 이러한 교통조건에서는 정규분포에 의해 차두시간 형태를 반영한다고 설명할 수 있다. 실제로 흔히 발생하는 교통조건으로 무작위와 균일 차두시간 상태 사이에 위치하는 중간적인 차두시간 형태는 자유롭게 움직이는 흐름과 제약받는 흐름이 존재한다. 이러한 두 가지 경계상태를 포함한 중간 차두시간 형태에 대한 대표적인 수학적 모형은 Pearson Type III 분포이다. 매개변수 (k, α) 에 따라 Gamma분포, Erlang분포, 음지수분포(Negative exponential Distribution), 전이된 음지수 분포(Shifted Negative Distribution)으로 유도가 가능하다.

Adolf, D. May(1990)가 제시한 Pearson Type III 분포의 확률밀도함수는 식(2-14)와 같다.¹⁹⁾

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda(t - \alpha)]^{K-1} e^{-\lambda(t - \alpha)} \quad \Delta(2-14)$$

여기서, $f(t)$ = 확률밀도함수
 λ = 평균 차두시간(초)
 K = 분포도의 형태를 결정하는 매개변수($0 \sim \infty$)
 α = 분포도의 전이를 결정하는 매개변수(>0)
 t = 조사된 차두시간(초)
 $\Gamma(K)$ = gamma함수

Pearson Type III 분포의 확률밀도 함수 누적확률은 식(2-15)와 같다.

19) Adolf D. May(1990), "Traffic flow fundamentals", Prentice-Hall, Inc.

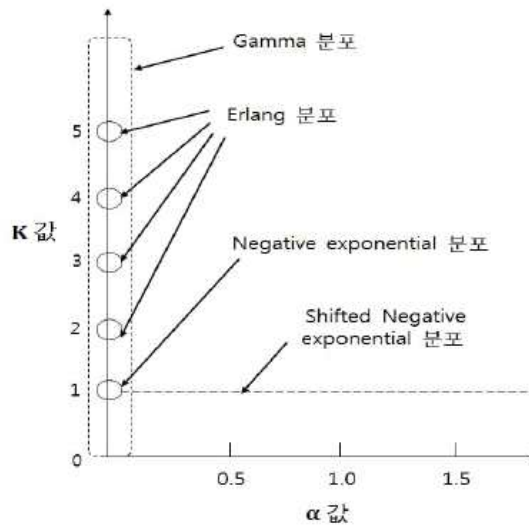
$$P(h \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad \Delta(2-15)$$

Person Type III 분포는 <그림 2-7>에서 보여지듯이 K값과 α 값에 따라 여러 가지 분포로 유도할 수 있다. 먼저 $\alpha=0$ 이 되면 Gamma 분포 모형이 되며, 확률밀도함수는 식(2-16)과 같다.

$$f(t) = \frac{\lambda}{K-1!} [\lambda(t)^{K-1} e^{-\lambda t}] \quad \Delta(2-16)$$

$\alpha=0$ 이고 $k=1$ 이면, 음지수분포가 되며, 확률밀도함수는 식(2-17)과 같다.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \Delta(2-17)$$



<그림 2-7> Person Type III 분포 모형의 분류(May, 1990)²⁰⁾

식(2-23)의 확률밀도함수는 식(2-18)과 같이 음지수분포의 누적확률형태로 변환과 전개가 가능하다.

20) Adolf, D. May(1990), "Traffic flow fundamentals", Prentice-Hall, Inc.

$$P(h \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad \Delta(2-18)$$

$$\text{치환하면, } P(h \geq t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt$$

$$\text{따라서, } P(h \geq t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/\bar{t}}$$

결론적으로 음지수분포는 Erlang분포의 특별한 경우이며, Erlang분포는 Gamma분포의 특별한 경우이고, gamma분포는 Pearson Type III분포의 일부이다. 여기서 $k=1$ 이고 $\alpha > 0$ 가 되면, 이는 전이된 음지수분포가 되고 확률밀도함수는 식(2-19)와 같다.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\alpha)} \quad \Delta(2-19)$$

제2절 수리계획법 이론 고찰²¹⁾

홍성필(2005)은 수리계획법(Mathematical Programming)은 주어진 제약조건에서 주어진 함수의 값을 최대 또는 최소로 하는 변수의 값을 선형계획법, 비선형계획법, 정수계획법으로 구한다.

선형계획법(Linear Programming)은 한정된 자원을 원하는 목적에 유효하게 사용하는 방법을 제시하는 것이다. 주어진 상황하에 여러 가지 조건과 목적에 의해 선형계획법이 설정된다. 설정된 문제는 선형식으로 주어진 제한조건과 목적을 동시에 만족하는 최적해(Optimal Solution)를 제시하게 된다. 선형계획법은 문제를 해결하기 위해 n 개의 의사결정변수와 m 개의 제약조건이 있다면 최대 또는 최소화 문제에 대한 전형적인 선형계획법은 식(2-20)과 같다.

○ 최대화(Maximize) or 최소화(Minimize) 문제

21) 홍성필(2005), 「선형계획법」, 한경사

Objective function :

$$\text{Maximize or Minimize } Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i \quad \Delta(2-20)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)(j = 1, 2, \dots, m)$$

$$\text{Nonreactivity constraint } x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

여기서,
 C_j = 단위당 기여도
 a_{ij} = 기술계수
 b_j = 이용 가능한 자원
 X_j = 의사결정변수
 m = 제약조건의 수
 n = 의사결정변수의 수

비선형계획법의 문제는 목적식을 주어진 제약식 하에서 최적화하는 문제이다. 비선형계획법 문제는 식(2-21)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Min(Max)} f(X) \quad \Delta(2-21)$$

$$\begin{aligned} \text{이 때 } g_i(X) &\leq b_i \quad (i = 1, \dots, m \dots) \\ X &\geq 0 \quad (\text{단, } X = [x_1, x_2, \dots, x_n]) \end{aligned}$$

정수계획법(Integer programming)은 선형계획법의 여러 가지 가정 중에서 실제로 변수가 정수값만을 가져야 하는 경우인데 변수가 실제 생산 제품의 숫자를 나타내거나 가부간의 결정을 해야 하는 경우에 이용되는 선형계획법을 정수계획법이라고 한다. 정수계획의 모형의 종류에는 모든 변수가 정수인 순수정수계획모형<식(2-22)>, 일부가 정수인 혼합정수계획모형<식(2-23)>, 모든 변수가 0 혹은 1인 0-1정수계획모형<식(2-24)>이 있다.

① 순수정수계획모형

$$\text{목적함수 } \max/\min Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad \Delta(2-22)$$

$$\text{제약조건 } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j = b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \geq b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

그리고 X_j : 비음정수

② 혼합정수계획모형

$$\text{목적함수 } \max/\min Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad \Delta(2-23)$$

$$\text{제약조건 } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j = b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \geq b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n$$

그리고 $X_j \geq 0, X_k$: 비음정수 (단, $j \neq k$)

③ 0-1 정수계획모형

$$\text{목적함수 } \max/\min Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad \Delta(2-24)$$

$$\text{제약조건 } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j = b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \geq b_i \text{ 또는}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

그리고 $X_j = 0$ 또는 1 (단, $j \neq k$)

제3절 선행연구 고찰 및 시사점 도출

1. 선행연구 고찰

일반적인 차두시간 분포 모형에 있어서는 식(2-25)와 같다. 정상상태에서 포아송 버스 도착분포는 하나의 정차면 용량은 FR(failure rate)이 1일 때 최적이며 승하·차하기 위한 버스서비스시간에서 용량은 독립적이라고 설명하였다.

$$\frac{\lambda}{\mu} = FR \quad \Delta(2-25)$$

여기서, λ : 버스 유입 비율, μ : 최대 서비스 비율

반면 Ge, H.(2006)은 버스도착 차두간격은 같으며 버스서비스시간은 일반적으로 사용되어지는 지수분포보다 더 일반적인 Erlang-k 분포를 따른다고 설명하였다.²²⁾ Danas, A.(1980) · Kohler, U.(1991)의 경험적 연구에서는 버스정류장에 버스도착은 포아송 분포를 따른다고 설명하였다. Fernandez, R.(2001)은 항상 포아송 분포를 따르는 것은 아니라고 설명했다.²³⁾ Weihua Gu et al(2011)는 <표 2-6>에서와 같이 단일정차면 운영시 포아송, 균일, 일랑분포로 구분하여 버스 도착분포를 설명하였다.²⁴⁾ 다중정차면에서 버스 도착은 포아송분포, 서비스 시간은 감마분포로 가정하고 대기비율이 0.15일 때 다중정차면에서 버스 서비스 시간과 용량에서 정규화된 용량과 증가분에 대한 변화는 하향곡선을 나타내는 것으로 분석되었다. 버스 서비스시간과 용량은 반비례관계가 성립하는 것으로 제시하였다.

22) Ge, H.(2006), “Traffic impacts of bus stops in urban area and related optimization techniques”, PhD Thesis, Southeast University.

23) Danas, A.(1980), “Arrivals of passenger and buses at two London bus stops”, Traffic Engineering and Control 21(10), pp.472-475.

Kohler, U.(1991), “Capacity of transit lanes”, In:Proceedings of the International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, Germany.

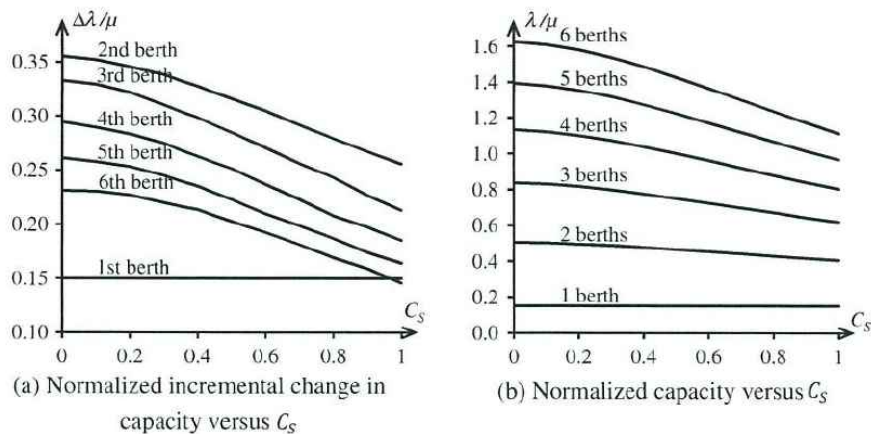
24) Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011), “On the capacity of isolated, curbside bus stops”, Transportation Research Part B, 45, pp.714-723.

〈표 2-6〉 단일정차면에서의 버스도착분포 모형 연구사례²⁵⁾

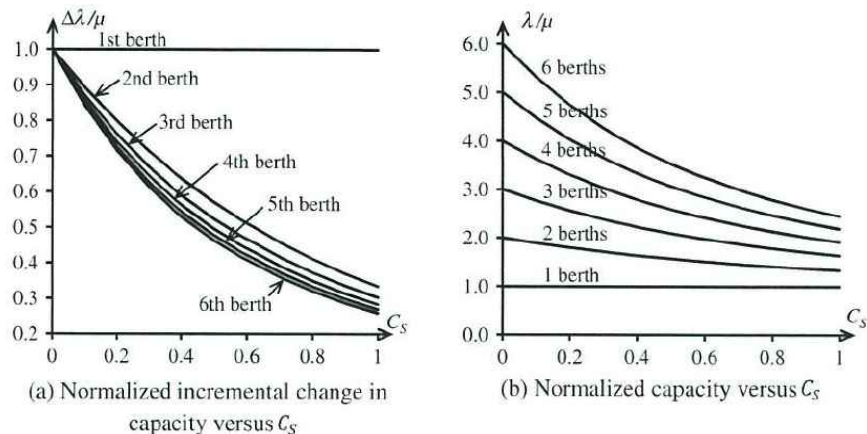
poisson	Uniform	Erlang-k
$\frac{\lambda}{\mu} = FR$	$\frac{\lambda}{\mu} = FR \frac{C_s}{1.58 + 0.63 C_s}$	$\frac{\lambda}{\mu} = FR \frac{0.43 C_H + 0.59 C_s - 0.29 C_H C_s}{1 - 0.57 C_H + 0.59 C_s - 0.29 C_H C_s}$

C_s : 버스서비스시간 변동계수, C_H : 버스 도착 차두시간 변동계수

Weihua Gu et al(2011)는 버스 서비스시간과 차두시간이 용량에 미치는 영향을 분석하였다. 〈그림 2-8〉, 〈그림 2-9〉은 대기비율이 각각 0.15, 1.0일때의 버스 서비스시간과 용량과의 관계를 나타낸다. 2번째~6번째 정차면까지는 버스서비스시간이 증가함에 따라 용량이 감소하는 반비례 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이 반비례관계는 대기비율이 증가함으로써 더욱 많이 영향을 받을 수 있음을 설명하였다.



〈그림 2-8〉 $FR = 0.15$ 일때 다중 정차면에서의 서비스시간 대비 용량 증가분 변화²⁶⁾

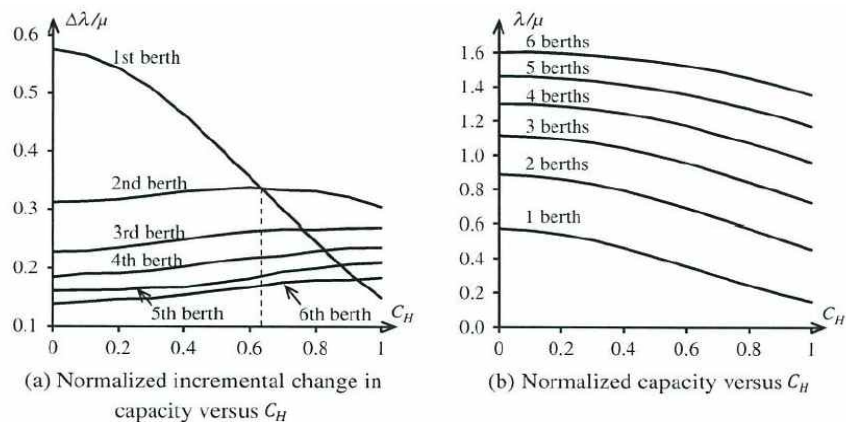


〈그림 2-9〉 $FR = 1$ 일때 다중 정차면에서의 서비스시간 대비 용량 증가분 변화²⁷⁾

25) 전개서, Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011)

26) 전개서, Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011)

〈그림 2-10〉은 버스 도착 차두시간의 변화에 대해 대기비율이 0.15 일때의 차두시간과 용량과의 관계를 나타낸다. 버스서비스시간은 감마 분포를 따르고 버스서비스시간은 0.6이고 버스 차두시간은 변동계수가 감마분포를 가정하고 버스 차두시간 범위는 0에서 1을 가정한다. 1번째 정류장은 용량이 1이고, 차두시간이 증가함에 따라 도착분포가 급격히 감소함에 따라 상대적으로 버스 차두시간에 상대적으로 민감하다. 2번째 정차면부터 6번째 정차면까지는 차두시간이 충분히 높을경우에 1번째 정차면에 의해 형성되는 도착분포보다 훨씬 크다. 어떤 용량에 대해 정류소의 용량은 차두시간이 증가함에 따라 감소한다.



〈그림 2-10〉 $FR = 0.15$ 일때 다중 정차면에서의 차두시간 대비 용량 증가분 변화²⁸⁾

Mushule, N.K.(2012)는 11개 정류장을 대상으로 15분동안 현장 조사를 실시하였다. 버스정류장 용량은 정차시간, 소거시간, 정차시간 변동, 대기율로 정의된다고 설명하였다. 버스 도착 빈도는 15분동안 동일한 장소와 시간에 현장에서 조사하였다. 도착대수가 최고치일 때 교통 흐름도 높은 것으로 평가하였다. 평균정차시간은 21.24초에서 153.82초의 범위내에서 변동계수 0.45~0.98로 평균정차시간은 일반적으로 운전자가 비침두시간대 승객을 기다리는 시간이 길어짐에 따라 더 높게 나타났다. 평균 소거시간은 7.26초에서 23.17초로 비침두시간대에 교통량이 적음에 따라 비침두시간대 더 짧게 분석되었다. 각 버스정차면에서의

27) 전게서, Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011)

28) 전게서, Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011)

버스도착비율도 연구한 결과 최대 Maximum flow rate는 시간당 72대~172대로 분석 하였다.²⁹⁾

강영균·고승영·서준석(2000)는 시내버스의 정차시간을 소거시간과 승하·차시간으로 세분하여 특성요소를 분석하였다. 승객의 서비스시간의 경우는 버스 요금형태별, 차량 재원별, 운행시간별 차이가 있는 것으로 제시하였다. 가감속시간의 경우는 버스정류장의 형태별 조사와 차량제원별 조사기 이루어졌다. 정류장 형태별 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.³⁰⁾

서준석(2002)는 정차시간에 대한 모형식을 개발하였다. 입석형버스와 좌석형 버스로 구분하고 승객 서비스 시간은 승차시 세가지의 요금 형태 거스름 없는 현금, 거스름 있는 현금 그리고 버스 카드로 구분 하였다. 하차시간은 차종별 하차인원수에 따라 수행하였다. 승·하차 시간에 대한 각각의 모형식을 구분하여 제시하였다. 정류장에서 정차면당 시간당 최대 버스수를 구하기 위하여 버스정류장에서 허용 정차시간 분포 범위 비율인 정차면 용량 보정계수가 결정적 영향을 준다고 설명하였다. 정차면의 용량을 산정하기 위한 중요한 변수값으로 설정하고 정류장의 위치나 특성, 버스 이용자수, 버스 노선수 등을 고려하여 결정을 하여야 한다고 제안하였다.³¹⁾

김응철·최대현(2010)는 서울시의 중앙버스전용차로 정류장의 버스 도착특성에 맞는 효율적인 정류장의 정차면수 산정에 관한 방안 제시 하였다. 현장조사 데이터를 기반으로 VISSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 중앙버스전용차로의 적정정차면수 산정을 위해 주요변수로 교통량과 대기차량발생비율을 고려하여 시뮬레이션 한 결과 정책결정시 대기차량 비율을 어느 정도까지 허용할 것인지에 따라 적정 정차면수를 제시할 수 있었다.³²⁾

29) Mushule, N.K.(2012), "Bus bay performance and ITS influence on the capacity of road network in DAR ES SALAAM", American Journal of Engineering and Applied Science, pp.107-113

30) 강영균·고승영·서준석(2000), "시내버스 정차시간 분석", 대한교통학회, 학술대회지, 38권, p.501-506

31) 서준석(2002), "버스 및 버스정류장 용량산정에 관한 연구", 명지대학교 박사학위논문

32) 김응철·최대현(2010), "시뮬레이션 기법을 이용한 중앙버스전용차로의 정차면수 산

BIS 데이터를 이용한 연구사례로는 오미영·정창용·손의영(2009)이 노선별 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 계산하여 서울시 간선버스의 정시성을 분석하였다.³³⁾ 이용우(2013)는 시내버스의 총 통행 시간에서 버스정류장 서비스시간을 제외한 통행시간을 설명변수로 하여 경로 통행시간을 예측하는 연구가 진행 되었다.³⁴⁾

이종호(1995)는 식(2-26)과 같이 선형계획기법을 응용한 모범택시의 배차시스템 개발연구에서 t시간대 빈택시 차량시간을 최소화하는 모형을 제시하였다. 모형은 간단한 선형계획모형으로서 Matrix 수가 1000개 이내에서는 PC급 컴퓨터로 최적해를 구할 수 있는 장점이 있었다. 본 배차시스템의 제약인 존간 통행시간예측과 적정 Matrix 수의 결정 방안을 제시하는데 의미가 있었다.³⁵⁾

$$\begin{aligned} \text{Min } TEVT_t &= \sum_i \sum_j VT(i,j,t) \times X(i,j,t) & \Delta(2-26) \\ \text{S.T. } \sum_j X(i,j,t) &= EV(i,t) \\ \sum_i X(i,j,t) &= P(i,t) \\ (i &= 1, 2, 3, \dots, 9, j = 1, 2, 3, \dots, 9) \end{aligned}$$

여기서,

- $TEVT_t$: t시간대 총빈차량시간
- $VT(i,j,t)$: t시간대에 존 i에서 존 j까지의 차량통행시간
- $X(i,j,t)$: t시간대에 빈택시가 위치한 존 i에서 승객의출발지인 존 j에 배차되는 빈택시의 수
- $EV(i,t)$: t시간대 존 i에서의 빈택시수
- $P(j,t)$: t시간대 존 j에서의 예약승객수

박범환·오석문·홍순흠·문대섭(2005)은 식(2-27)과 같이 열차 노선계획 수립에 있어 최적의 시종착 정차 패턴과 운행횟수를 모형으로부터

정에 관한 연구”, 대한교통학회 학술대회지, 제62권, pp.608-613

33) 오미영·정창용·손의영(2009), “BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석”, 대한교통학회지, 제27권 PP.63-71

34) 이용우(2013), “BIS자료를 이용한 경로통행시간 추정”, 토목공학회지, 제33권 제3호, pp.1115~1122

35) 이종호(1995), “수송문제 선형계획기법을 응용한 모범택시의 배차시스템 개발”, 대한교통학회지 제13권 제1호

직접 구하는 최적화 모형을 제시하였다. 이 모형은 다양한 정차 패턴으로 운행되고 있는 경부선 철도, 호남선 고속열차 노선계획에 적용하여 현실에 적합한 최적화된 여러 가지 노선들의 정차패턴까지 구할 수 있는 모형이라는 점에서 개선된 모형이라 할 수 있다. 36)

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \alpha \sum_k p^k b^k + \beta \sum_k \sum_{od} f^{od} S_k^{od} + \gamma \sum_k \sum_{ij} \sum_{od} t_{ij} \lambda_{ijk}^{od} \quad \Delta(2 \quad 27) \\
 & \text{s.t. } \sum_{kij \in At(k)} x_{ij}^k - \sum_{kji \in A(\lambda k)} x_{ji}^k = \begin{cases} b^k & i = s(k) \\ -b^k & i = t(k) \quad \forall i, k \\ 0 & o/w \end{cases} \\
 & \sum_k \sum_{ij \in Al(w)} x_{ij}^k \leq L_w, \quad \forall w \in A \\
 & \sum_{ij} x_{ij}^k \leq H_k, \quad \forall k \in K \\
 & \sum_{kij \in Ai(k)} \lambda_{ijk}^{od} - \sum_{kij \in Ai(k)} \lambda_{jik}^{od} = \begin{cases} D_k^{od} \sim s_k^{od} & i = 0 \\ -D_k^{od} + s_k^{od} & i = d \quad \forall od \\ 0 & o/w \end{cases}
 \end{aligned}$$

여기서,

- K : 투입 가능 후보 열차 집합.
좌석용량(객차의 수 혹은 좌석수)과 차종이 동일하더라도 충분한 개수만큼의 서로 다른 후보 열차를 k 에 포함시킨다
- $A_i(k)$: k 번째 후보 열차의 정차가능역을 이용한 논리망
- t_{ij} : ij 역간 무정차 운행시간
- p^k : k 번째 후보 열차의 투입비용. 실제로 각 편성의 비용은 객차의 고정비용과 가변비용, 그리고 열차의 가변비용으로 구성된다고 가정하면 각 열차에 대한 p^k 는 시종착역과 용량(객차수)만으로 사전에 계산 가능하다. 따라서 하나의 후보 열차가 편성형태로 주어질 경우, 이 비용은 하나의 파라미터로 설정할 수 있다.
- D^{od} : od 간 수요
- f^{od} : od 간 수요
- $s(k), t(k)$: k 번째 후보 열차의 출발 및 도착역
- L_w : 링크 w 의 선로용량
- H_k : k 번째 후보 열차의 노선에 대한 최대 정차 횟수 제약
- C_k : k 번째 후보 열차의 좌석용량, 고속열차의 경우 935석
- T : 투입 가능한 열차 횟수
- S_i : i 역의 최소 정차 횟수

36) 박범환·오석문·홍순흠·문대섭(2005), “다양한 정차 패턴을 고려한 열차 노선계획의 수립”, 대한교통학회지 제23권 제6호

결정변수,

- k 번째 후보 열차가 논리호 ij 를 지나면 $x_{ij}^k = 1, else 0$
- k 번째 후보 열차가 투입되면 $b^k = 1, else 0$
- λ_{ijk}^{od} : 논리호 ij 를 지나는 k 번째 후보열차의 od 수요량
- D_k^{od} : k 번째 열차에 배분되는 수요량
- s_k^{od} : k 번째 열차의 미충족 od 수요량

유민석·송재훈·최성임(2013)은 최적화 기법 기반의 항공기 스케줄러 개발연구를 통해 항공 스케줄링 문제를 수학적으로 모델링한 후 혼합 정수선형계획법(MILP : Mixed Integer Linear Programming)과 유전자 알고리즘을 통하여 항공기 지연시간을 최소화 하는 최적의 스케줄링을 제공하였다. 최적화된 스케줄링을 평가하기 위해 인천공항에서의 항공기 스케줄링 자료와 비교한 결과 최적화된 스케줄링이 제공하는 항공기 처리량이 현재 인천공항에서 처리하는 처리량보다 현저히 높다는 결과를 확인하였다.³⁷⁾

2. 선행연구 시사점 검토

국가교통DB센터에 따르면 2015년 7월 30일 기준 우리나라의 대중교통수단분담율은 41.3%로 2005년 28.1% 대비 13.2% 상승하였고 2015년 41.3% 중 25.8%가 버스분담률이 차지하였다. 이처럼 버스가 차지하는 비율이 높아짐에 따라 버스 시설 및 운영 등의 최적화에 관한 연구가 필요하다고 판단한다. 현재까지 연구는 운영측면에서 요금징수 방법, 버스 제원, 승하·차인원 및 승객 서비스 시간, 정차면 점유시간 등에 따른 정차면 산정, 정차시간, 용량산정 등에 대한 연구가 개별 항목 단위로 이루어졌다. 미시적 수준에서의 개별 차량의 운행 행태를 대상으로 정차시간, 차두시간에 대한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 제한적이다.

37) 유민석·송재훈·최성임(2013), “최적화 기법 기반의 항공기 스케줄러 개발 및 실제 공항의 수치적 묘사”, 한국항공우주학회지, pp.681-688

국내에서는 2000년대에 들어서 강영균·고승영·서준석(2000)의 시내 버스 정차시간 분석, 서준석(2003)의 버스 및 버스정류장 용량 산정에 관한 연구,곽정화·김영찬·이호상(2009)의 버스 차량군을 고려한 정차면수 산정 모형 개발³⁸⁾, 김웅철·최대현(2010)의 시뮬레이션 기법을 이용한 중앙버스전용차로의 정차면수 산정에 관한 연구가 전부인 실정이다. BIS 데이터를 이용한 연구도 오미영 · 정창용 · 손의영(2009)의 서울시 간선버스의 정시성 분석과 이용우(2013)의 통행시간을 설명변수로한 경로 통행시간 예측 연구로 제한적인 것으로 조사 되었다.

국외의 경우 Danas, A.(1980)와 Kohler, U.(1991)는 버스정류장의 버스 도착분포를 포아송 분포모형으로 제시하였으나 Fernandez, R.(2001)은 항상 포아송 분포모형을 따르는 것은 아니라고 설명했다.³⁹⁾ Hoey, W.F. · Levinson, H.S.(1975)는 버스용량에 대한 분석연구, Lin, T.M. · Wilson, N.H.M.(1992)는 경전철 시스템에 대한 정차시간 분석연구⁴⁰⁾, Levinson, H.S. · Kevin, R.S. · Jacques, T.(1998)는 버스차선 용량산정⁴¹⁾, Fernandez, R. · Planzer, R.(2002)는 HCM(2000)의 용량 산출식을 현장 조사를 통해 평가⁴²⁾, Rajbhandari, R. · Chien. S.I. · Daniel, J.R.(2003)는 승차 정보를 통한 정차시간 추정⁴³⁾, Weihua Gu et al(2011)는 버스 서비스시간과 차두시간이 용량에 미치는 영향 분석 및 단일 정차면의 버스 도착 분포(포아송, 균일, 일랑분포)에 대해 연구 하였다.

최적화 모형 연구에 있어 이종호(1995)는 선형계획기법을 응용한

38) 곽정화·김영찬·이호상(2009), “버스 차량군을 고려한 정차면수 산정 모형 개발”, 대한교통학회 학술대회지, 제60권 pp. 340-345

39) Fernandez, R.(2001), “A new approach to bus stop modeling”, Traffic Engineering and Control, 42(7).

40) Lin, T.M. · Wilson, N.H.M.(1992), “Dwell Time Relationships for Light Rail System”, Transportation Research Record 1361, TRB, Washington D.C.

41) Levinson, H.S. · Kevin, R.S. · Jacques, T.(1998), “Bus Lane Capacity Revisited”, Transportation Research Record 1618, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.189-199.

42) Fernandez, R. · Planzer, R.(2002), “On the capacity of bus transit system”, Transport Reviews, 22(3), pp.267-293.

43) Rajbhandari, R. · Chien. S.I. · Daniel, J.R.(2003), “Estimation of Bus Dwell Times with Automatic Passenger Counter Information”, TRB, Washington D.C.

모범택시의 배차시스템 개발연구에서 t 시간대 빈 택시 차량시간을 최소화하는 모형을 제시하여 대기시간 최소화라는 목적함수에 있어서 본 연구와 시사하는 바가 유사하다. 박범환·오석문·홍순흙·문대섭(2005)은 열차 노선계획 수립에 있어 최적의 시·종착 정차 패턴과 운행횟수를 모형으로부터 직접 구하는 최적화 모형을 제시하였다. 유민석·송재훈·최성임(2013)은 항공 스케줄링 문제를 수학적으로 모델링한 후 혼합정수선형계획법(MILP : Mixed Integer Linear Programming)을 활용하여 최적화 기법 기반의 항공기 스케줄러 개발연구 항공기 지연 시간을 최소로 하는 최적화 스케줄링 모형을 제공하였다. 모형 평가 방법으로 인천공항에서의 항공기 스케줄링 자료와 비교하였다. 본 연구에서도 송내 환승시설의 실제 버스 운행 이력 자료와 비교하고자 하였다.

3. 본 연구의 차별성 및 기여

4차 산업혁명시대에는 빅 데이터를 활용한 서비스산업이 유망한 일로 뽑히고 있다. 교통분야에 있어서도 교통카드 빅 데이터를 통해 크게는 그 도시의 사회적 가치를 찾아내고 작게는 대중교통 이용자의 이동패턴 분석을 통해 상권분석, 부동산 분석, 유동인구 집중도 등 다양한 분야에 연구 자료로 활용되기도 한다. 빅데이터의 패러독스 중 하나는 처리해야 할 데이터는 점점 더 커지는데 분석가들에게 주어지는 시간은 점점 짧아져 분산 컴퓨팅 기술이 탄생하였다. 지능 정보기술과 기계의 지능화로 생산성이 향상돼 전 세계의 산업구조 근본이 바뀌는 4차 산업혁명시대에 도래하고 있다. 교통분야에서도 ITS기술 발달로 첨단 무선통신 환경하에 V2V와 V2I 기술 적용시 교통사고율이 80%이상 감소되어 교통안전분야에 혁신을 예상하고 있다.

본 연구는 거시적으로는 정보통신 기술발달과 함께 ITS 기술 발달에 따라 실시간으로 GPS와 차내 통신장치를 통해 개별 버스의 정류장 이벤트 정보 수집이 용이하다. 상용화된 검지체계를 통해 정차면 이벤트

정보를 수집하여 본 연구의 데이터로 활용하였다. 데이터를 분석하고 계산하는 문제에 있어서도 연산장치와 저장장치가 이원화 되어 있는 물리적인 컴퓨터 기술 환경을 극복하기 위해 분산 컴퓨팅 기술을 이용하여 본 연구의 알고리즘을 처리하였다. 이렇게 버스정류장에서의 개별 버스 단위의 운행패턴 분석 및 노선배분 문제에 대하여 정보통신의 기술 패러다임과 ITS기술을 활용하여 연구 결과를 제시하였다는 의미를 가지고 있다.

미시적인 측면에 볼 때는 국내외 연구사례에서는 ITS기술을 이용하여 버스정류장에서의 개별 버스 단위의 미시적 수집 데이터를 기반으로 연구한 사례가 없었다. 다중 버스정류장의 효율적 운영을 위해 합리적인 노선 배분에 대한 모형연구 사례도 전무한 상황에서 본 연구가 가지는 의미는 「대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법」 제5조에 따라 광역교통시행계획에 반영되어 추진되고 있는 환승시설 구축사업은 시내 환승시설을 시작으로 전국에 23개(수원역, 오산역, 지제역, 양촌역 등) 환승시설이 확대 운영될 계획으로 효율적인 환승시설 운영에 대한 기초적인 연구사례가 될 수 있으리라 판단한다. 다음과 같이 내용적·방법론적 차별성과 기여를 설명할 수 있다.

첫째, 기존 선행연구에 있어서는 BIS 데이터를 이용하여 통행시간 및 정시성과 관련한 연구가 제한적으로 진행되었다. 버스정류장 시설과 관련해서는 비디오 영상조사나 현장조사 중심의 차량 재원별, 요금 형태별 정차시간 분석 및 버스정류장 형태별 가·감속시간 분석 등의 개별단위 연구가 진행되어 왔다. 지금까지 선행연구의 대부분이 현장조사 중심의 연구결과였다. 현장조사의 경우 초(Sec) 단위의 정확한 데이터 구축에 어려움이 있다. 데이터 구축시 조사 및 데이터 정리에 소요되는 시간과 조사자가 직접 육안으로 판단함에 따른 데이터의 정확도가 감소하는 문제점, 조사를 통해 수집할 수 있는 데이터 표본의 크기 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점과 버스행정에 있어 신속한 의사결정을 해야 할 경우 데이터 구축 및 분석까지는 상당기간 소요되어 현실적으로 적용 하는데는 어려움이 있다. 본 연구에서는 도로 및 교통조건과

버스정류장 운영여건 등에 따라 다양하게 변동되는 실질적인 운행시격을 잘 반영하기 위해 초(Sec) 단위의 미시적인 개별 버스 단위의 운행패턴 데이터인 BIS 및 검지기 수집 데이터를 토대로 분석을 실시하였다.

둘째, 버스정류장에서의 개별버스의 특성을 나타내는 정차시간과 차두시간에 대한 분포모형에 있어서도 기존 연구사례에서는 명확한 설명이나 뒷받침 없이 정차시간은 정규분포, 차두시간은 Gamma와 Erlang분포모형을 가정하여 채택하고 있다. 본 연구에서는 초(Sec) 단위에 개별 버스의 버스정류장 도착 및 정차패턴 데이터를 기반으로 정차시간 및 차두시간 분포모형을 선정하고자 하였다. 분포모형 선정에 있어서도 빈도수에 따라 분포모형이 달라질 수 있는 점을 고려하여 밀도 추정(Density Estimation)을 위해 사용되는 MISE가 최소화가 되는 Optimal Bin-width를 산출하여 이를 적용하였다. 추정분포별 SE(Square Error)값을 통해 적합한 분포모형을 선정하고 평가함에 있어 모형의 일반화를 위해 검증시 사용하는 자료는 동일 조건(셋째 주 화요일, 오전 첨두시(07:00~09:00), 오후 첨두시 (18:00~20:00)으로부터 수집된 자료를 토대로 검증하였다. 버스정류장내 적정 정차면수를 의사 결정함에 있어 실무현장에서도 활용할 수 있도록 검증된 분포모형을 통해 환승시설내 주차면수의 적정성을 평가하여 제시하였다.

셋째, 송내 환승시설 이용 시내버스 22개 노선을 3개 구역에 배분시 BIS 및 검지기로부터 수집되는 개별 버스 운행행태 자료를 토대로 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」의 대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준을 적용하여 실무현장에서 쉽게 적용할 수 있는 휴리스틱 접근방법을 통해 노선별 운행경로 특성을 분석하여 대안을 수립하였다. 대안별 노선수, 진입대수, 정차시간을 검토하여 정류장별 균등한 대안을 선정하였다. 선정된 대안을 평가하기 위해 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션한 결과 전체 정류장의 총 대기 비율을 평가지표로 하여 평가하였다.

넷째, 실무현장에서 활용하는 휴리스틱 접근방법의 경우 분석자의 주관적인 판단과 의견이 반영되어 결과에 오류가 반영될 소지가 있다.

가장 이상적인 대안을 찾기 위해 정수계획법을 활용하여 수학적인 모형을 구축하여 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 노선배분 해를 찾고자 알고리즘을 구현하였다. 본 연구에서는 버스 이용자의 노선 이용 편의를 고려하기 위해 유사경로 노선을 동일구역에 배분하도록 조건과 이용자 편의를 고려하지 않고 가능한 모든 조합의 수를 검토하여 최적의 노선배분 해를 제시하여 비교하였다. 알고리즘을 구현함에 있어 Matrix 조합의 수 ($0 \sim 3^{22}$)만큼이고 연속적인 시간의 개념을 고려하여 상용프로그램인 LIMDEP이나 MATLAB 등을 사용하지 않고 MS VC 9.0 Visual studio 2008 개발환경에서 C언어를 이용하여 프로그래밍(Programming)하여 최적의 해를 제시하였다. 본 모형을 검증 및 평가하기 위해 VISSIM을 활용하여 시나리오(1:휴리스틱 접근방법에 의한 현재 운영중인 노선배분 현황, 2: 최적화 모형_이용자 고려, 3: 최적화모형_이용자 미고려)를 시뮬레이션 하여 전체 정류장의 총 대기비율을 평가지표로 하여 평가하였다.

결과적으로 전국 262개 시·군 중 약 150개 시·군이 BIS를 운영 중에 있어 별도의 현장조사 없이 BIS 정류장 이벤트 자료를 통해 본 연구에서 제시하는 휴리스틱 접근방법 및 수리적 모형은 버스정류장 노선 운영시 실무현장에서 의사결정지원 수단으로 선택적으로 활용 될 수 있으리라 판단한다.

제3장 정류장에서의 개별 차량 운행 특성 분석

제1절 개요

송내 환승시설 다중 버스정류장 이용 노선은 <표 3-1>과 같으며 배차간격은 5분~40분, 노선 연장은 2.7km~34.5km, 소요시간은 25분~200분까지 다양한 노선이 운영중에 있다.

<표 3-1> 22개 노선 현황

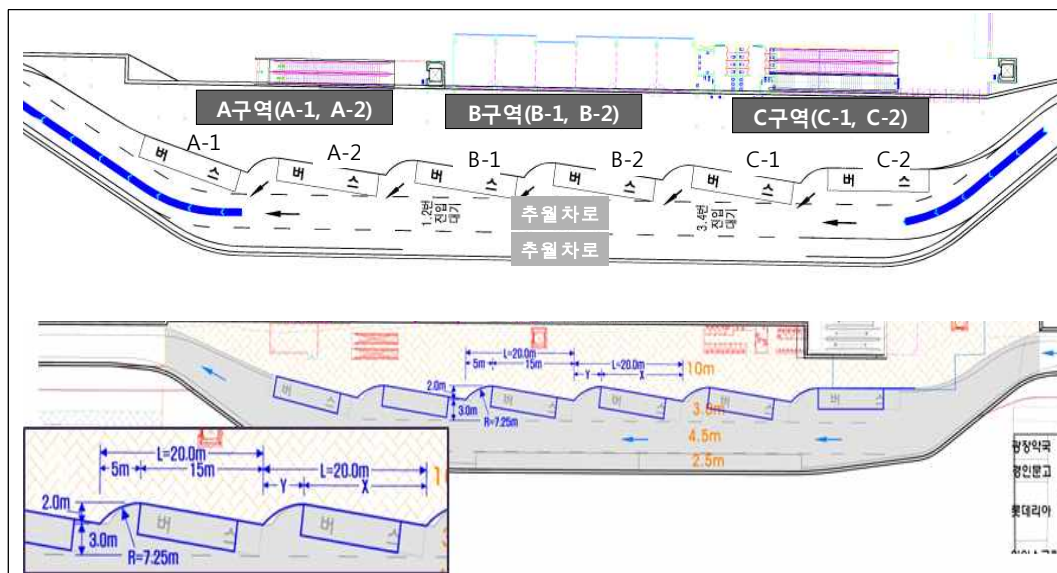
노선 번호	시점	주요경유지	종점	배차간격 (분)	노선연장 (km)	소요시간 (분)	관할청
12-1	대장동	오정동,송내역,중동역,소사동	괴안사거리	5.0	19.4	150	부천시
16	삼산시장	진달래마을,세이브존,백송마을	송내역	5.0	6.3	50	
27	송내역	경남아파트, 푸른마을, 홈플러스	소풍터미널	5.0	2.7	25~40	
15	송내역	상동역, 부천체육관, 한라마을	한라마을앞	6.0	6.5	60	
23	화곡역	부천시청역, 신중동역, 송내역	화곡역	6.0	16.3	65	
53	소사고	소사구청,송내역,상동역	아인스월드	6.0	15.4	155	
7-1	테크노파크	부천체육관,현대백화점,순천향병원	송내역	6.0	5.2	50~55	
70-3	상동차고지	송내역,약대오거리, 오정동	신세계백화점	7.0	23.0	80	
83	대장차고지	송내역,부천시청,역곡역	여의도	7.0	25.5	80	
50-1	송내역	현대백화점,테크노파크,고강동	방화중학교	8.0	22.5	180~200	
70	상동차고지	송내역,부천시청,원종동	당산역	8.0	26.5	80	
25	범박동	역곡남부역,소사동,송내역	반달마을	9.0	11.5	45~50	
8	고강차고지	원종동,송내역,테크노파크	삼정동	9.0	20.0	60~70	
66	송내역	상동역,은하마을,부천북부역	국민은행	10.0	9.8	90	
700	상동차고지	송내역,부천시청,양천구청	63빌딩	12.0	26.0	75~80	
33	송내역	현대백화점,춘의역,여월지구	화곡역	12.0	15.1	65	
23-5	소사차고지	역곡역,부천시청,목련마을	송내역	13.0	15.7	70	
7-4	상동차고지	송내역,중앙공원,오정동	김포공항	13.0	13.8	40~50	
96	범박동	소사구청,소사역,시민회관	송내역	14.0	7.7	30	
96-1	송내역	부천정보산업고,부개동	서해그랑블	15.0	4.65	35	
673	자동차단지	송내역,부천시청,오정동,화곡역	이대부고	14.0	25.5	80~90	서울시
1	반월공단	안산역,시흥시청,송내역	홈플러스	40.0	34.5	110~120	안산시

주: 배차간격은 오전/오후 첨두시(07:00~09:00, 18:00~20:00) 배차간격임

본 연구에서 개별 버스의 운행 행태 특성 분석을 위한 현장 조건을 정리하면 <그림 3-1>과 같다.

- 송내 환승시설의 정류장 형태는 톱니형 베이형태

- 정류장 : 3개[정류장 ID : A구역(11555), B구역(11556), C구역(11557)]
 - 버스정류장 제원 : 정류장 길이 20m, 감속구간길이 3m, 순수 정차면길이 12m, 가속구간 길이 5m
- 정차면 : 총 6개의 톱니형 정차면을 2개씩 구역하여 3개로 구역
- 버스전용차로 운영 : 진입 주변도로, 환승시설 진입로, 정류장, 진출로
- 설계속도 : 20kph
- 차로수 : 3차로
 - 차로별 폭원 : 3.5m(정차면)/ 4.5m(추월차로1)/2.5m(비상대기 및 추월차로2)
- 최소 평면곡선반경 / 최대평경사 / 최소 정지시거 : 15m, 6%, 20m
- 통행원칙 : 구역별 진입차량은 정차면 1, 2 중 먼저 진입한 노선이 빈 정차면에 정차면 1, 2면 모두에 차량이 정차해 있을 경우 추월차로 1에 대기 지정 정차면에 그 외 통과차량은 추월차로 2 이용. 단, 정차면별 진출입시 타 버스와의 상충은 없음.



〈그림 3-1〉 송내 환승시설 버스정류장 및 정차면 설치 현황

본 장에서는 개별 버스에 대한 데이터 구축방법, 버스정류장 이용시 가장 많은 시간을 사용하고 중요한 요인인 정차시간 및 차두시간에 대한 특성치 분석 및 적합 분포모형을 선정하였다.

데이터 구축은 실시간으로 운행하는 개별 버스 단위의 미시적인 운행패턴을 대상으로 비디오 영상, BIS 정류장 이벤트 자료와 검지기

정차면 이벤트 자료를 토대로 수집 Reference Point에 따라 설명력이 좋은 자료를 기반으로 하였다. 정차시간은 검지기 정차면 진출입 이벤트 자료로 차두시간은 BIS 정류장 진입 이벤트 자료를 토대로 분석하였다.

기존 선행연구사례에서 제시하는 정차시간과 차두시간에 대한 분포모형을 토대로 본 연구에서 추정하고자 하는 5가지 분포모형을 정의하였다. MISE가 최소인 Optimal Bin-width를 반영하여 추정분포 모형에 대한 SE값을 토대로 선정된 추정분포모형에 대한 적합분포 검정을 위해 K-S검정을 수행 하였다. 모형 검증을 위해 모형치와 현장치에 대하여 χ^2 검정을 실시하였는데 이를 정리하면 다음과 같다.

[단계 1] 조사 개요

- (1.1) 송내 환승시설 정류장, 3개 정류장, 정류장별 2개 정차면
 - 정류장 ID : A구역(11555), B구역(11556), C구역(11557)
- (1.2) 대상 : 22개 노선
- (1.3) 조사시간대 : 2016년 5월 17일, 오전첨두(07:00-09:00), 오후첨두(18:00-20:00)

[단계 2] 데이터 구축

- (2.1) 비디오 영상
- (2.2) BIS 정류장 이벤트 정보
- (2.3) 검지기 정차면 이벤트 정보
- (2.4) 데이터 필터링
 - (2.4.1) 정차시간 : 검지기 정차면 이벤트 정보
 - (2.4.2) 차두시간 : BIS 정류장 이벤트 정보

[단계 3] 정차시간 및 차두시간 특성치 분석

- (3.1) 정차시간 특성 분석 및 정차시간계수 산정
- (3.2) 차두시간 특성 분석
- (3.3) 용량과 정차시간 및 차두시간 상관성 분석

[단계 4] 추정 분포모형 선정

- (4.1) 추정 분포모형 정의 : Normal, Erlang, Uniform, Exponential, Gamma
- (4.2) MISE가 최소인 Optimal Bin-Width 산정 및 분포 모형에 적용
- (4.3) 추정 분포모형의 Square Error 산정

[단계 5] 적합 분포모형 선정

- (5.1) 추정 분포모형의 적합분포 통계적 검정
- (5.2) 적합 분포모형 선정

[단계 6] 모형 검증

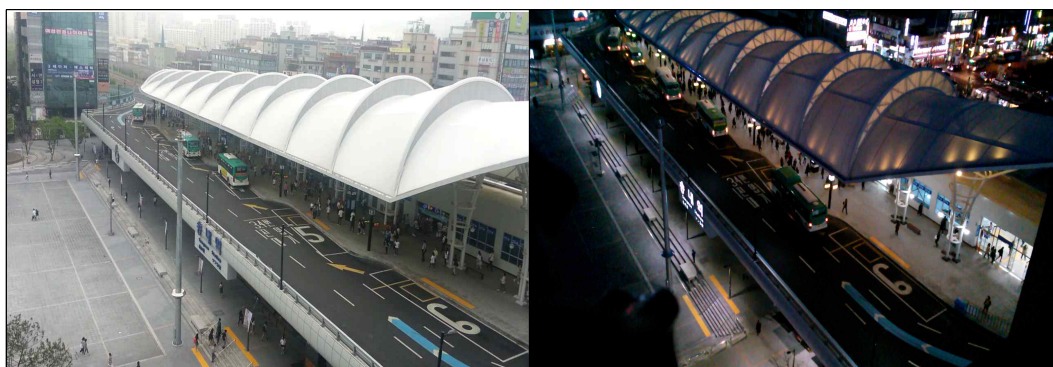
- (6.1) 모형치와 관측치 오차(RMSE) 검토
- (6.2) 적합도(χ^2) 검정
- (6.3) 적합 분포모형 채택

[단계 7] 연구결과 활용

- (7.1) 적정 정차면 용량 평가

제2절 데이터 구축

본 연구에서 데이터 구축에 있어 결측 자료의 보완을 위해 비디오 영상을 통한 보완조사를 실시하였다. 송내 환승시설의 오전, 오후 첨두시는 <그림 3-2>와 같다.



[오전첨두 - 07:00~09:00]

[오후첨두 - 18:00~20:00]

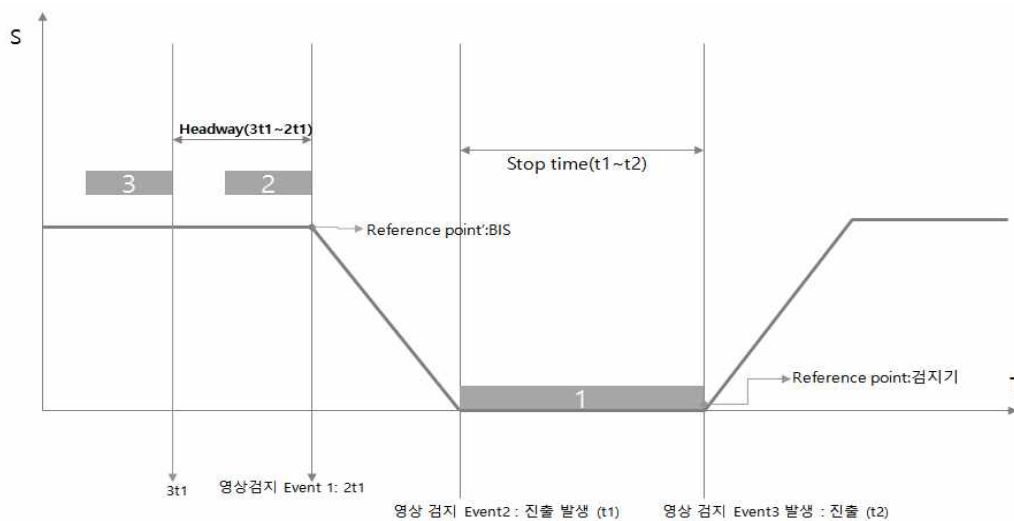
<그림 3-2> 송내 환승시설 오전, 오후 첨두시간

비디오 영상 정보는 <그림 3-3>과 같이 버스가 정차면에 진입할 때(t_1)부터 정차면을 출발할 때(t_2)까지를 정차시간(S_t)으로 정의하였으며 식 (3-1)과 같다.

$$S_t = t_2 - t_1 \quad \text{식(3-1)}$$

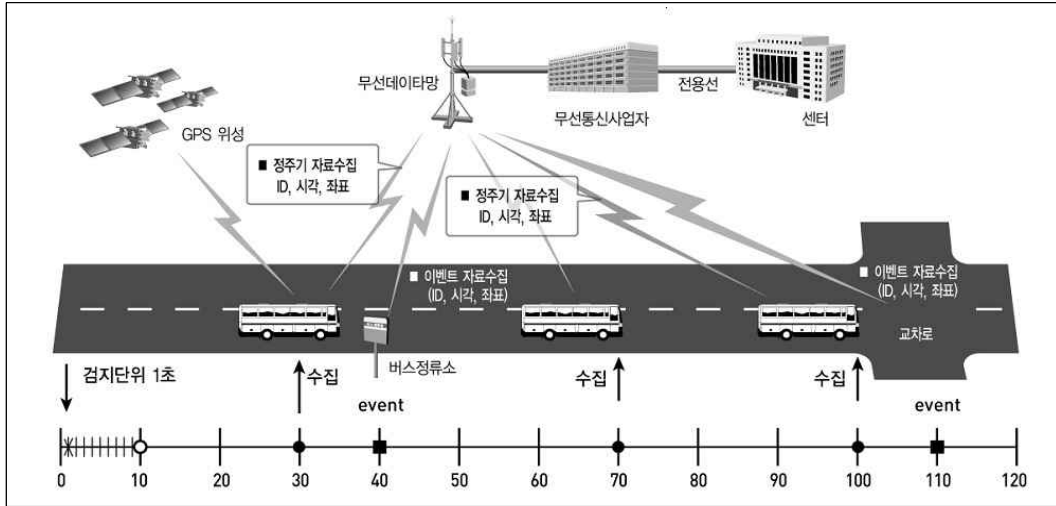
reference point' 를 기준으로 할 때 선행버스가 정류장에 도착한후 ($2t_1$) 다음 버스가 reference point' 에 도착하기까지의 시간($3t_1$)을 차두 시간이라고 한다면 식(3-2)와 같다.

$$headway = 3t_1 - 2t_1 \quad \text{식(3-2)}$$



<그림 3-3> 비디오 영상 정차시간 및 차두시간 측정 방법

BIS 정류장 이벤트 정보는 <그림 3-4>와 같이 GPS장비를 차내 수집 장치내에 장착하여 센터에 일정시간간격(정주기, 1분) 및 정류소, 교차로를 지날 때 이 이벤트를 개별 버스에 대하여 시각, 좌표값을 센터에 전송하고 다음 정류소까지의 거리를 반영하여 이동평균법으로 도착예정정보를 생성하여 해당 정류소에 정보를 내려주는 방식이다. BIS 수집 정보는 이벤트 발생일시, 센터수집일시, 차량번호, 운수회사, 노선번호, 위치유형(정류장, 교차로), 위치명, 이벤트코드(정류장출발, 정류장도착, 교차로 통과), 막차유무 등이다.



〈그림 3-4〉 GPS를 이용한 정주기방식의 이벤트 정보 수집

〈그림 3-5〉와 같이 BIS 정류장 진입 이벤트 발생(t_1 : reference point #1)에서부터 BIS 정류장 진출 이벤트 발생(t_2 : reference point #2)까지를 개별 버스마다의 정류장 점유시간(O_t)이라 정의할 수 있으며 식(3-3)과 같다.

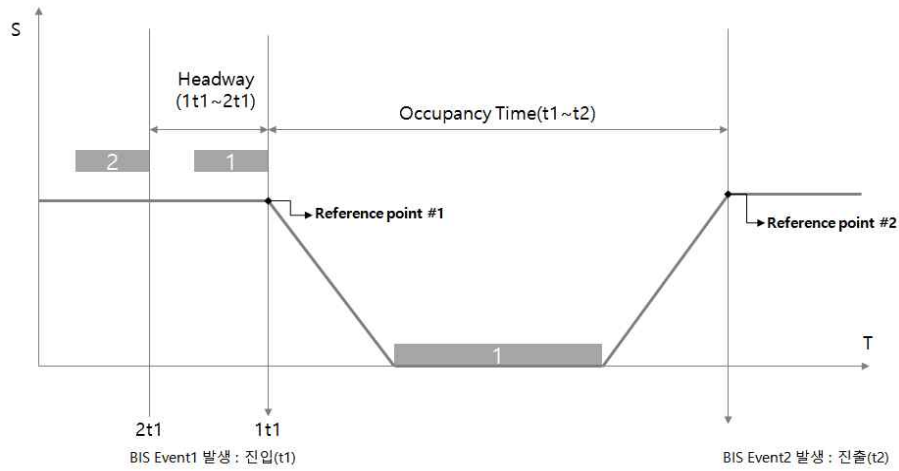
$$O_t = t_2 - t_1 \quad \text{식(3-3)}$$

선행버스가 reference point #1에 도착한후($1t_1$) 다음 버스($2t_1$)가 reference point #1에 도착하기까지의 시간을 차두시간이라고 한다면, 선행버스의 정류장 진입 이벤트 발생시간($1t_1$)으로부터 다음 버스의 정류장 진입 이벤트 발생때까지의 시간($2t_1$)으로 표현할 수 있는데 식(3-4)와 같다. 단, 후량이 reference point #1에 도착했을 때 선 도착 차량이 대기 중일 경우 이때 차두시간에 대기시간이 포함된다.

$$headway = 2t_1 - 1t_1 \quad \text{식(3-4)}$$

여기서, $1t_1, 2t_1$ 이 선 도착 차량이 정차면에 정차하고 있어 대기할 경우

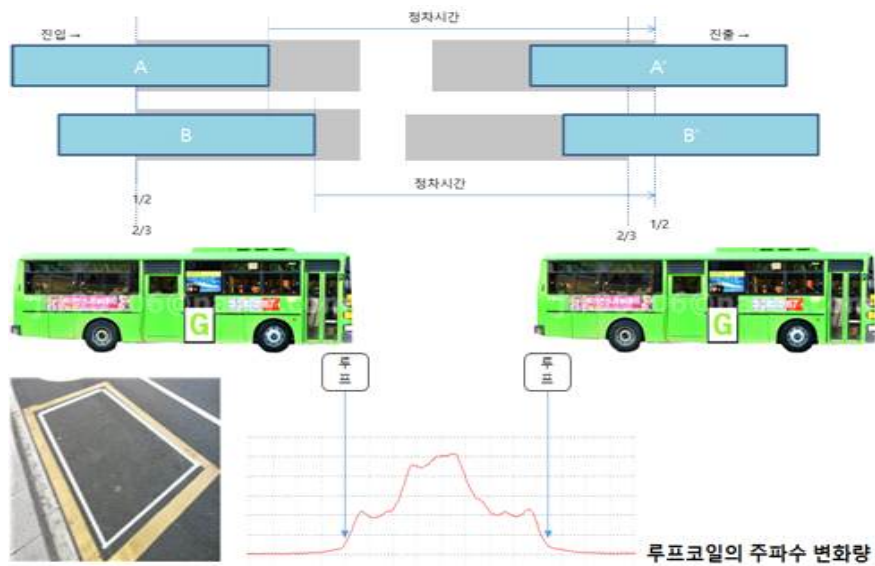
$$headway \in 1t_1, 2t_1 \text{의 대기시간}$$



〈그림 3-5〉 BIS 정류장 점유시간 및 차두시간 측정방법

버스정류장에 도착한 개별 버스가 승객을 승하·차하기 위해 정차면에서 서비스하기 위한 정차시간 데이터를 수집하기 위해 정차면별로 루프검지기를 <그림 3-6>과 같이 설치하였다. 정차면 진입·출 검지 정보는 루프검지기 운영 프로세스에 있어서 다음과 같이 정의된다.

- [정차면내 진입 검지] - 버스가 정차면내 설치된 루프코일 면적의 1/2 또는 2/3정도를 점유하였을 때 검지하며, 이때 버스가 진입하였다고 진입정보를 센터로 전송
- [정차면 진출 검지] - 버스가 루프코일 면적의 1/2 또는 2/3정도를 벗어날 경우 검지가 해제되며, 이때 버스가 진출하였다고 진출정보를 센터로 전송



〈그림 3-6〉 루프 검지기 수집체계

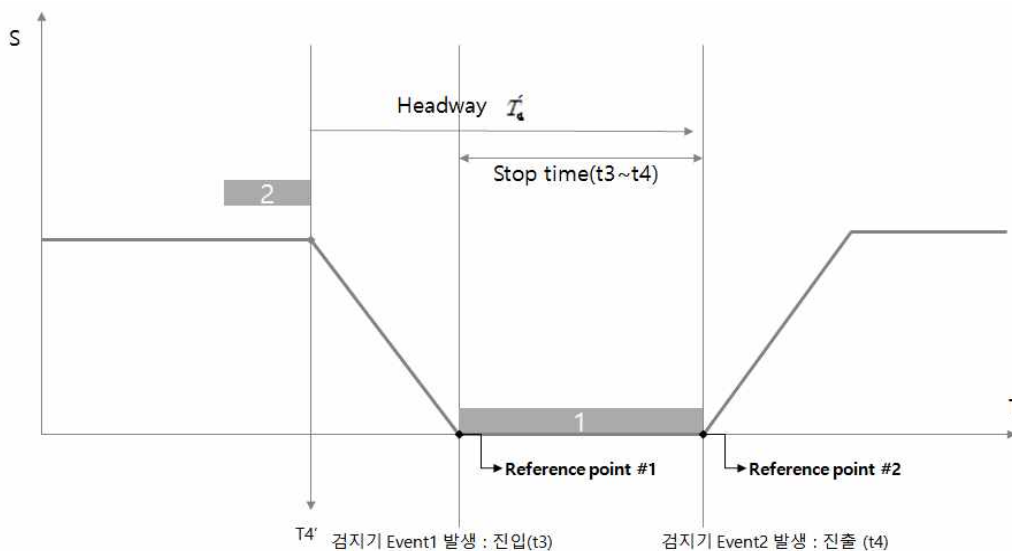
검지기로부터의 수집 정보는 <그림 3-7>과 같이 이벤트 발생일시, 정차면 진입시간, 진출시간이다. 검지지 정차면 진입 이벤트 발생(t_3 : reference point #1)에서부터 검지지 정차면 진출 이벤트 발생(t_4 : reference point #2)까지를 개별 버스마다의 정류장 정차시간(S_t)이라 정의할 수 있으며 식(3-5)와 같다.

$$S_t = t_4 - t_3 \quad \Delta(3.5)$$

또한 Reference point가 t_4 일 경우 선행버스가 정차면에 도착한후(t_4 : reference point #2) 다음 버스가 t_4 에 도착하기까지의 시간(T_4')을 차두시간이라고 한다면 식(3-6)과 같다. 단, 후미 차량이 도착했을 때 선행 차량이 정차면을 사용중일 경우 대기해야 함으로 이때는 차두시간에 대기시간이 포함된다.

$$headway = T_4' \quad \Delta(3.6)$$

여기서, 선 도착 차량이 정차면에 정차하고 있어 대기할 경우
 T_4' 의 headway \in 대기시간



<그림 3-7> 루프 검지기에서 정차시간 및 차두시간 측정방법

〈표 3-2〉와 같이 송내 환승시설의 침두 요일과 오전, 오후 침두시를 고려하여 다중 버스정류장에 도착하는 개별 버스에 대해 모두 동일한 조건하에 동시에 비디오 영상, 루프검지기, BIS를 통해 데이터를 구축하였다. 비디오영상은 실제 데이터 분석에서는 제외하였고 보완 자료로 활용하였다. 모형 구축시와 모형 평가시 동일한 침두 요일을 대상으로 조사하였다. 모형 평가시 표본수가 30개 이상씩 확보 되어 통계적 유의성 확보 하였다.

〈표 3-2〉 데이터 구축 현황

구 분		루프 검지기	BIS	비디오 영상
모형 구축	일 시	2016년 5월 17일 화요일		
	장 소	송내 환승시설 다중 버스정류장		
	조사시간	오전 침두시 : 07:00~09:00 오후 침두시 : 18:00~20:00		
	조사대상	21개 노선		
	데 이 터	정차면 진출입 시간	정류장 진출입 시간	정류장, 정차면 진출입 시간
	유형 데이터	오전 침두	A구역(99), B구역(103), C구역(95)	A구역(99), B구역(103), C 구역(95)
모형 평가	유형 데이터	오후 침두	A구역(93), B구역(99), C구역(92)	A구역(93), B구역(99), C구역(92)
	일 시	2016년 6월 28일 화요일		
	장 소	송내 환승시설 다중 버스정류장		
	조사시간	오후 침두시 : 18:00~19:00		
	조사대상	21개 노선		
	데 이 터	정차면 진출입 시간	정류장 진출입 시간	정류장, 정차면 진출입 시간
	유형 데이터	오후 침두	A구역(37), B구역(32), C구역(40)	A구역(37), B구역(32), C구역(40)

오전, 오후 구역별 정차시간에 대한 검지기와 비디오 영상, 검지기와 BIS 수집 자료에 대한 평균표준오차는 1.30초~3.01초이며, 편차는 12.74초~29.97초이다. 검지기의 경우 정차시간은 2초~156초로 나타난 반면 비디오 영상 및 BIS는 5초~156초, 6초~169초로 나타났는데 검지기의 정차시간 수집 Reference Point가 정차면 시작점과 끝점인 반면 BIS 정류장 진출입 이벤트 자료의 수집 Reference Point는 정차면이 아닌 정류장 시작점과 끝점이기 때문인 것으로 판단된다.

수집원별 특성치 및 정차시간 분포에 대한 차이 유무를 통계 검정한

결과 <표 3-3>과 같이 오후 C구역의 검지기와 비디오 영상데이터만 유의확률 0.02로 유의수준 0.05에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되고 나머지 모든 경우에는 수집원별 개별버스의 정차시간은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 데이터 구축이 용이한 수집원을 통해 본 연구의 결과에 제시하는 모형을 적용해도 무리가 없을 것으로 판단된다.

<표 3-3> 수집원별 정차시간 특성치 및 분산검정

구분		N	최소값	최대값	평균	평균 표준오차	표준편차	분산	유의확률
오전	A 구역	검지기	99	2.00	156.00	39.44	2.90	28.89	834.82
		비디오영상	99	9.00	156.00	38.50	2.82	28.13	791.55
		BIS	99	8.00	169.00	47.46	2.90	28.86	833.41
	B 구역	검지기	103	4.00	122.00	38.71	2.42	24.64	607.51
		비디오영상	103	10.00	156.00	39.14	2.46	24.97	623.79
		BIS	103	6.00	131.00	46.03	2.45	24.87	618.64
	C 구역	검지기	95	6.00	80.00	30.81	1.46	14.25	203.30
		비디오영상	95	8.00	89.00	28.88	1.30	12.74	162.82
		BIS	95	6.00	97.00	40.35	1.76	17.51	306.78
오후	A 구역	검지기	93	6.00	115.00	39.61	2.12	20.50	420.53
		비디오영상	93	6.00	130.00	38.41	2.14	20.64	426.02
		BIS	93	11.0	123.00	46.79	2.12	20.49	419.99
	B 구역	검지기	99	4.00	137.00	47.76	2.80	27.86	776.67
		현장조사	99	6.00	138.00	43.21	2.36	23.50	552.43
		BIS	99	10.00	167.00	58.28	3.01	29.97	898.59
	C 구역	검지기	92	2.00	131.00	34.61	1.74	16.69	278.62
		비디오영상	92	5.00	93.00	30.54	1.35	12.98	168.51
		BIS	92	9.00	137.00	43.89	1.88	18.08	327.10

A구역, B구역, C구역은 각각 정차 노선수, 승하·차인원, 배차간격이 상이한 반면 물리적인 환경에 있어서는 추월차로가 별도로 마련되어 있고 환승시설내 운영규칙⁴⁴⁾ 진출·입이 다른 노선 통행에 간섭이나 방해가 없으므로 A구역, B구역, C구역의 데이터를 통합하여 Full Data로 활용하기 위하여 기준 변수를 버스정차면 및 정류장 용량에 영향을 큰 정차시간을 선택하였다.

정차시간은 운전자가 버스정류장 정차면에 진입하여 승하·차인원에

44) 각 구역별 2개 정차면에 버스가 모두 정차하고 있는 상황에 각 구역별 진입 대상 버스가 정차할 수 없는 대기상태가 발생하면 해당 대기정차구역에 정차하고 그 외 진출 버스는 추월차로를 이용하여 서로간에 간섭이 없도록 한다.

따라 승하·차하기 위해 정차가 필요하며, 승객을 승하·차 시키기 위해 문을 열고 닫는 개폐시간 등을 반영하는데 정차면내 용량을 결정지움에 있어 많은 과정을 망라하는데 소요되는 시간이 정차시간이라 판단하고 정차시간에 대한 통계적 유의성을 검정하였으며, 검정을 위한 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$$

$$H_1 : \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \text{ 중에 적어도 하나는 다르다.}$$

σ_1 : A구역(오전 침두시, 오후 침두시)의 정차시간 분산

σ_2 : B구역(오전 침두시, 오후 침두시)의 정차시간 분산

σ_3 : C구역(오전 침두시, 오후 침두시)의 정차시간 분산

통계 검정결과 <표 3-4>와 같이 신뢰수준 95%로 분석시 오전 침두시의 경우 F 유의도 $P=0.012 < 0.05$, 오후 침두시의 경우 F 유의도 $P=0.001 < 0.05$ 이므로 귀무가설을 기각하였다. 오전, 오후 침두시 각 구역별 정차시간은 유의한 차이가 있어 A, B, C구역에 대하여 오전, 오후 침두시를 각각 하나의 구역으로 통합하여 분석하는 것은 통계적인 유의성이 없는 것으로 분석되었다.

<표 3-4> 오전/오후 침두시별 구역별 정차시간 통계검정

구분		제 곱합	자유도	평균제 곱	F	유의 확률
오전 (A,B,C구역)	그룹 간	5089.712	2	2544.856	4.458	0.012
	그룹 내	160975.9	282	570.8366		
	계	166065.6				
오후 (A,B,C구역)	그룹 간	6855.371	2	3427.686	6.751	0.001
	그룹 내	132516.6	261	507.7263		
	계	139371.9				

개별차량에 대한 구역별 오전, 오후 침두시 정차시간에 대한 차이 유무를 검정하기 위해 다음과 같은 가설 검정을 실시하였다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : 오전 침두시(A구역, B구역, C구역)의 정차시간 평균

μ_2 : 오후 침두시(A구역, B구역, C구역)의 정차시간 평균

구역별 오전, 오후 침두시별 정차시간을 통합하기 위해 신뢰수준 95%로 분석시 통계검정 결과 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 구역별 오전/오후 침두시별 정차시간 통계검정

구분		평균	분산	자유도	P(F<=f)	P(T<=t)	H_0
A구역	오전	39.44	834.82	92	0.00	0.46	Accept
	오후	39.61	420.53	92			
B구역	오전	38.71	607.51	94	0.16	0.01	Reject
	오후	47.76	776.67	94			
C구역	오전	30.81	203.30	87	0.11	0.09	Accept
	오후	34.61	278.62	87			

검정결과 구역별 오전, 오후 침두시별 정차시간에 대해 A구역의 경우 F 유의도 0.00, $P(T<=t)=0.46>0.05$, C구역의 경우 F 유의도 0.11, $P(T<=t)=0.09>0.05$ 로 H_0 를 채택하여 A, C구역의 오전, 오후 침두시별 정차시간은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 검증되었다. B구역의 경우 F 유의도 0.16, $P(T<=t)=0.01<0.05$ 로 H_0 를 기각하여 B구역의 오전, 오후 침두시별 정차시간은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석 되었다. 본 연구에서 각 구역별, 오전, 오후 침두시별 정차시간을 포함한 자료를 통합하지 않고 개별적으로 분석하였다.

제3절 정차시간, 차두시간 특성 분석

KHCM(2103)에서는 대중교통과 관련하여 버스 정차면 또는 정류장의 용량 산정에 대해 다루고 있다. 용량 산정시 가장 중요한 요인은 버스의 정차면 점유시간이며 이는 용량에 반비례한다고 정의하고 있다. 버스의 정차면 점유시간, 즉 버스 정차시간과 소거시간의 합인데 소거시간의 경우는 빈 정차면으로의 진입은 앞 버스의 소거시간 중에 이루어질 수 있으므로 빈 정차면에 진입하는데 소요되는 시간은 매우 작거나

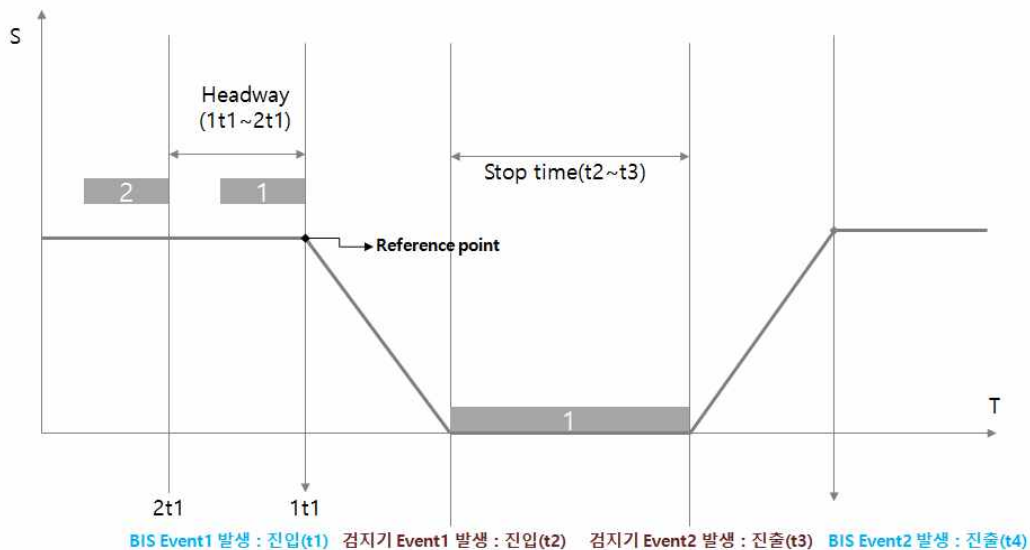
사실상 0에 가까운 것으로 보고 있어 사실상 정차시간이 가장 큰 의미를 가지고 있다. 이렇게 버스정류장 용량에 중요한 영향을 주는 정차시간과 연속된 운행 단위간에 형성되는 차두시간 등 개별 버스 운행 특성치를 기반으로한 기존 연구사례는 거의 미비하다.

송내 환승시설은 버스전용도로로 운영되고 있어 버스 외에 어떠한 차종도 진입하지 않는다. 정차면 외 1,2 차로는 추월차로로 운영이 되고 있고 정차면 진입을 위해 대기시에도 대기지점이 정해져 있어 다른 차량의 진출입에 간섭이 없다. <그림 3-8>과 같이 개별 버스 정류장, 정차면에서 수집된 개별 버스의 정차시간 및 차두시간 특성 분석을 위해 정차시간은 검지기 정류장 이벤트 정보, 차두시간은 reference point를 기준으로 BIS 정류장 이벤트 정보를 토대로 분석하였다.

· 정차시간 : $S_t = t_3 - t_2$, · 차두시간 : $Headway = 2t_1 - 1t_1$

여기서, $1t_1, 2t_1$ 이 선 도착 차량이 정차면에 정차하고 있어 대기할 경우

$headway \in 1t_1, 2t_1$ 의 대기시간

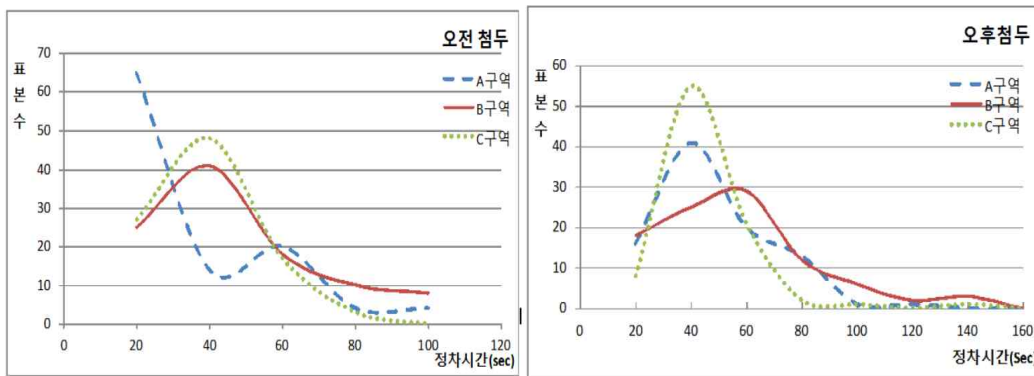


<그림 3-8> 버스정류장에서 개별 버스의 정차시간 및 차두시간 측정방법

1. 정차시간 및 차두시간 분포 특성

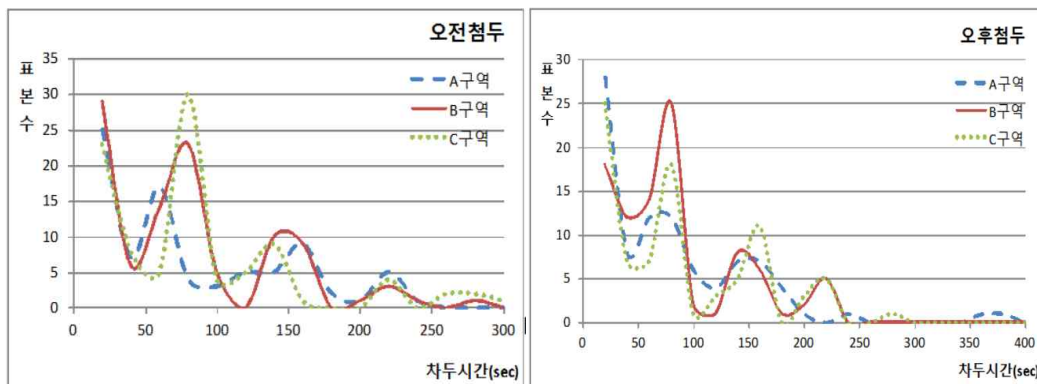
<그림 3-9>와 같이 오전 첨두시(07:00~09:00)의 경우 B구역, C구역의

정차패턴이 유사하며 30~40초 범위에서 정차시간이 형성되는 것으로 나타났다. 오후 침두시(18:00~20:00)의 경우 A구역, B구역이 정차패턴이 유사하며 40~50초 범위에서 정차시간이 형성되는 것으로 나타났다. 다만, 오전에는 A 구역, 오후에는 B구역의 정차시간의 변화폭이 큰 것으로 나타났다.



〈그림 3-9〉 오전, 오후 침두 정차시간 분포

〈그림 3-10〉과 같이 오전 침두시(07:00~09:00)의 경우 A구역, C구역의 정차패턴이 유사하며 70~80초 범위에서 차두시간이 형성되는 것으로 나타났다. 오후 침두시(18:00~20:00)의 경우 A구역, B구역이 정차패턴이 유사하며 70~80초 범위에서 차두시간이 형성되는 것으로 나타났다. 다만, 오전에는 B 구역, 오후에는 C구역의 차두시간의 변화폭이 큰 것으로 나타났다.



〈그림 3-10〉 오전, 오후 침두 차두시간 분포

본 연구의 분석 자료인 정차시간과 차두시간에 대한 기초 통계값은 <표 3-6>과 같다. 평균 정차시간의 범위는 30.81초~47.76초이며, 평균 차두시간의 범위는 68.58초~78.92초로 나타났다. 오전 침두시보다 오후 침두시에 각 구역별 정차시간, 차두시간 모두 높은 것으로 나타났다. 85% 정차시간의 경우는 B구역에서 오전, 오후 침두시에 차이가 큰 것으로 나타났다. 차두시간의 경우 A구역에서 오전, 오후 침두시에 차이가 큰 것으로 분석 되었다.

<표 3-6> 정차시간 및 차두시간 기초 통계값

구분		A구역		B구역		C구역	
		오전침두	오후침두	오전침두	오후침두	오전침두	오후침두
정차시간 (초)	최소	2	6	4	4	6	2
	최대	156	115	122	137	80	131
	평균	39.44	39.61	38.71	47.76	30.81	34.61
	85%	17	20	12	19	17	23
차두시간 (초)	최소	0	0	1	1	0	0
	최대	221	369	273	215	285	284
	평균	72.20	74.61	68.58	72.87	75.96	78.92
	85%	6	5	16	15	4	4

2. 정차시간변동계수

본 연구에서는 버스정류장의 정차시간변동계수(Coefficient of variation of dwell times)를 검토하였다. 이는 정차시간의 편차를 나타내는 것으로서 정차시간의 표준편차와 평균을 비교하여 변동계수를 식(3-7)과 같이 산정한다. 만약 C_v 의 값이 0에 가까울 경우에는 정차시간이 모두 동일한 패턴으로 정차하는 것이다. C_v 값이 1에 가까울 경우에는 최대 정차시간에 가깝게 정차하는 것을 의미하는데 일반적으로 국외의 경우 C_v 값은 여러 미국의 도시들을 관측한 결과, 0.4~0.8의 값을 보이는 것으로 나타나 0.6값을 평균적으로 적용하고 있다.

$$\text{정차시간 변동계수}(C_v) = (S/X) \quad (\text{식 3-7})$$

여기서 S = 표준편차, X = 평균

정차시간 변동계수를 산정한 결과 <표 3-7>에서와 같이 0.46~0.74의 값으로 분석 되었다. 평균적으로 0.6이 산출되어 정차시간이 동일한 패턴으로 운영되지 않는 것으로 분석 되었다. 구역별 차이를 보면 최대 0.74, 최소 0.46으로 나타나 각 구역별 정차시간 변동은 편차가 있는 것으로 분석 되었다.

<표 3-7> 정차시간 변동계수(C_v)

구분	A구역		B구역		C구역	
	오전	오후	오전	오후	오전	오후
평균	39.44	39.61	38.71	47.76	30.81	34.61
표준편차	28.89	20.50	24.64	27.86	14.25	16.69
C_v	0.74	0.52	0.63	0.59	0.46	0.48

3. 정차시간과 차두시간이 버스정류장 용량에 미치는 영향

본 연구에서는 용량이 정차시간, 차두시간과의 선형관계 정도를 분석하였다. 분석결과 <표 3-8>과 같이 용량과 정차시간에 대한 상관계수는 오전의 경우 -0.826 ~ -0.929, 오후의 경우 -0.817 ~ -0.909으로 버스정류장 용량은 정차시간과 상관관계가 매우 높은 것으로 분석 되었다. 오전, 오후 모두 정차시간은 A, B, C구역의 경우 정차시간이 커지면 용량은 감소하고 정차시간이 감소하면 용량이 커지는 음(-)의 상관관계가 있다. 차두시간은 용량과 상관계수가 각 구역별로 오전의 경우 -0.038, -0.085, -0.294, 오후의 경우 0.131, -0.254, -0.171로 두 요인 간에는 상관성이 매우 낮은 것으로 나타나 송내 환승시설에 도착하는 개별 버스의 도착빈도가 용량에 영향을 줄만큼 높지 않은 것으로 판단된다.

<표 3-8> 용량과 정차시간 및 차두시간 상관성

구분			정차시간	차두시간	구분			정차시간	차두시간
오전	A 구역	용량	상관	-0.826	오후	A 구역	용량	상관	-0.909
			유의수준(양측)	0.000				유의수준(양측)	0.000
			df	96				df	90
	B 구역	용량	상관	-0.875		B 구역	용량	상관	-0.876
			유의수준(양측)	0.000				유의수준(양측)	0.000
			df	100				df	92
	C 구역	용량	상관	-0.929		C 구역	용량	상관	-0.817
			유의수준(양측)	0.000				유의수준(양측)	0.000
			df	92				df	85

제4절 정차시간 및 차두시간 분포모형 선정 및 평가

버스정류장에서 일반적으로 승하·차인원에 따라 정차시간이 차이가 날수 있다. 비첨두시간에는 배차간격이 커지면서 정차면에서 대기하면서 승객을 태우기 위해 장기 정차하는 시간이 반영되기도 한다.

버스가 버스정류장에 도착할 때 연속되는 도착분포간에 상호 작용하며 도착패턴이 초 단위로 형성 되는데 이는 연속형 변수로 나타난다. 교통량 수준별로 차두시간 분포의 형태는 일반적으로 다른데 높은 교통량 수준에서는 균일분포, 낮은 교통량 수준에서는 무작위 차두시간 분포로 구분된다. 기존 선행연구 고찰 결과 버스정류장에서의 정차시간과 차두시간 분포모형에 대한 연구 사례는 <표 3-9>와 같이 제한적이다.

<표 3-9> 버스정류장에서의 정차시간 및 차두시간 분포모형 선행연구 사례

정차시간 분포모형	차두시간 분포모형
· Kohler(1991), HCM(2010), TCQSM(2013) : 정균분포	· Ge(2006) : 지수분포보다는 열량분포가 더 적합
· Weihua Gu et al(2011) :	· Weihua Gu et al(2011) :
- 다중정차면 : 감마분포로 가정	- 단일정차면 : 포아송, 균일, 열량분포로 구분하여 설명
	- 다중정차면 : 포아송분포로 가정

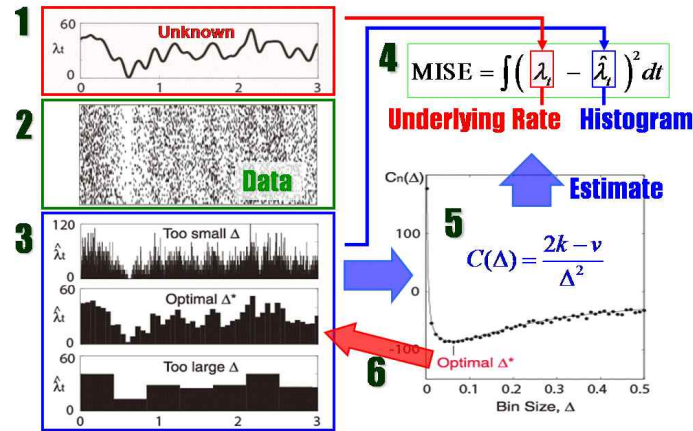
본 연구에서는 선행 연구결과를 바탕으로 각 정류장별 정차시간 및 차두시간에 대하여 가장 적합할 것으로 추정되는 정규분포, 균일분포, 음지수분포, 감마분포, 열량분포를 적용하였다. 분석 자료는 특성치 분석자료와 동일한 자료로 분석 시간대는 오전 첨두시(07:00~09:00), 오후첨두시(18:00~20:00)이다. 데이터의 통계적 분포의 산정 및 시뮬레이션 분석 프로그램 ARENA을 이용하여 각 분포의 통계적 적합도 검정을 실시하였다.

Shimazaki, H. and Shinomoto, H.(2007)는 각 분포모형은 데이터의 빈도수 산정시 등급폭(Bin-width)에 따라 분포모형이 달라질 수 있는 점을 고려하여 각 데이터의 모형을 추정하기 위해 MISE(Mean Integrated Square Error, 평균적분제곱오차)를 사용하는데 밀도 추정시와 알려져

지 않은 확률밀도의 추정값의 MISE는 식 (3-8)과 같다.⁴⁵⁾

$$MISE = \frac{1}{T} \int_0^T E(\hat{\lambda}_t - \lambda_t)^2 dt \quad \Delta(3-8)$$

이때, λ_t 는 알려지지 않은 밀도이며, $\hat{\lambda}_t$ 는 n개의 서로 독립이며 동일한 분포를 따르는 확률변수들에 기초한 추정값이다. E는 표본과 관련된 기댓값(expected value)을 나타낸다. MISE를 최소화하는 Optimal Bin size를 결정하는 절차는 <그림 3-11>과 같다.



<그림 3-11> Histogram Optimization

MISE가 최소화 되는 Optimal Bin-width를 적용하여 각 추정 분포 모형에 적용하였다. 추정 분포모형 검토시 식(3-9)와 같이 분포의 불일치도를 나타내는 오차값이다. 작을수록 추정 분포의 정확도가 높다고 설명할 수 있는 SE(Square Error)값을 분석하여 SE값이 가장 작은 분포를 추정 분포로 하여 적합분포에 대한 통계적 검증을 실시하였다.

$$SE = (\hat{Y}_i - Y_i) \quad \Delta(3-9)$$

여기서, \hat{Y}_i : 추정값, Y_i : 실제값

45) Shimazaki. H. · Shinomoto, H.(2007), “A Method for Selecting the Bin size of a Time Histogram”, Neural Computation 19, PP.1503-1527.

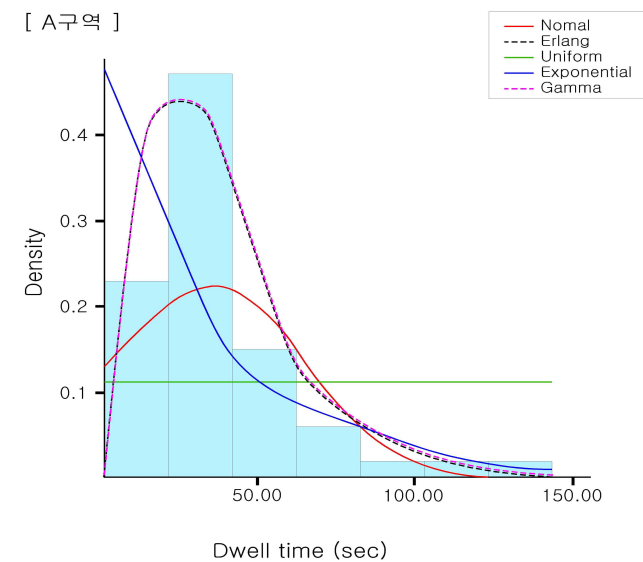
1. 정차시간 분포모형

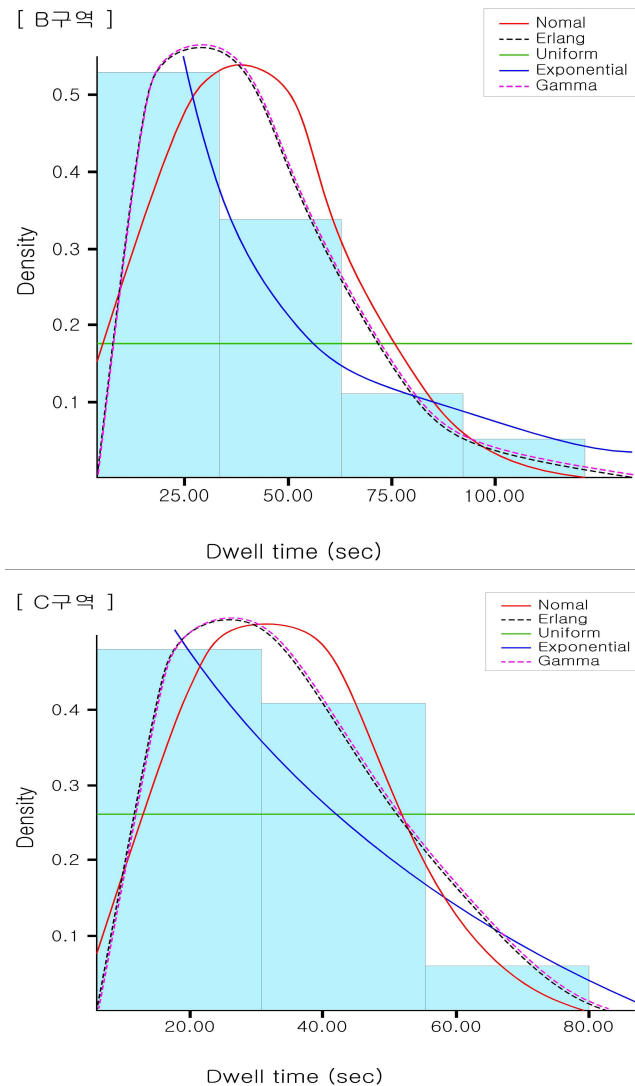
본 연구에서는 선행 연구사례에서 제시한 분포를 적용하여 추정 분포를 정규분포, 균일분포, 음지수분포, 일랑분포, 감마분포를 적용하였다. <표 3-10>과 같이 오전 침두시 정차시간에 대한 Optimal Bin-width는 각각 8.10, 4.06, 3.36이며 SE(Square Error)값은 A구역 Erlang(SE:0.013), B구역 Erlang(SE:0.0147), C구역 Erlang(SE:0.00963)로 분석 되었다.

<표 3-10> 오전침두시_정차시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE

항목	Optimal Bin-width	오전침두 정차시간 추정분포 SE				
		Normal	Erlang	Uniform	Exponential	Gamma
A구역	8.10	0.0489	0.013	0.151	0.0657	0.0214
B구역	4.06	0.0238	0.0147	0.174	0.0254	0.00203
C구역	3.36	0.0115	0.00963	0.271	0.07	0.0102

오전 침두시 A, B, C구역의 정차시간에 대해 정규분포, 일랑분포, 균일분포, 음지수분포, 감마분포 적용치를 그래프로 비교하면 <그림 3-12>와 같다.





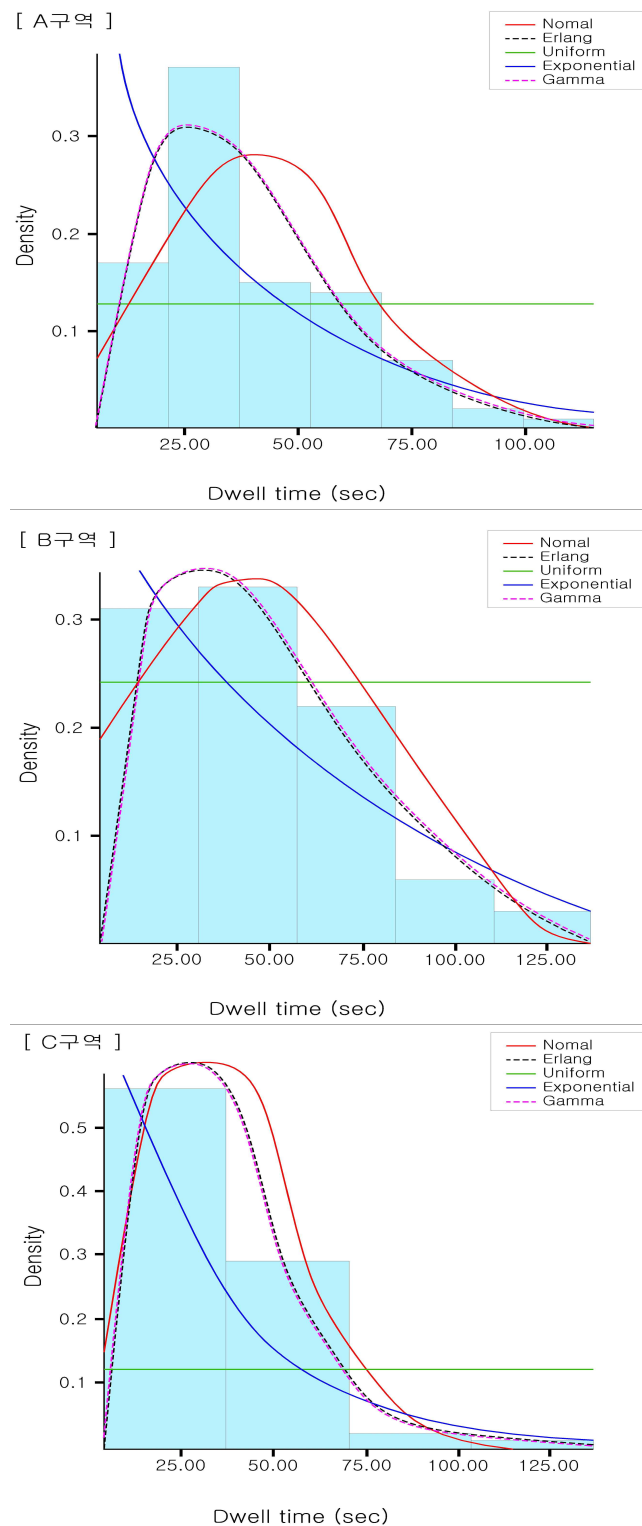
〈그림 3-12〉 오전첨두시 구역별 정차시간분포 비교

〈표 3-11〉과 같이 오후첨두시 정차시간에 대한 Optimal Bin-width는 각각 7.78, 5.54, 3.79이며, SE(Square Error)값은 A구역 Erlang(SE:0.0124), B구역 Erlang(SE:0.00113), C구역 Erlang(SE:0.00963)으로 분석 되었다.

〈표 3-11〉 오후첨두시_정차시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE

항목	Optimal Bin-width	오후첨두_정차시간 추정분포_SE				
		Normal	Erlang	Uniform	Exponential	Gamma
A구역	7.78	0.035	0.0124	0.101	0.0641	0.0157
B구역	5.54	0.0166	0.00113	0.129	0.0565	0.00129
C구역	3.79	0.0115	0.00963	0.271	0.07	0.0102

오후 침두시 A, B, C구역의 정차시간에 대해 정규분포, 알랑분포, 균일분포, 음지수분포, 감마분포 적용치를 그래프로 비교하면 <그림 3-13>과 같다.



<그림 3-13> 오후침두시 구역별 정차시간분포 비교

2. 차두시간 분포모형

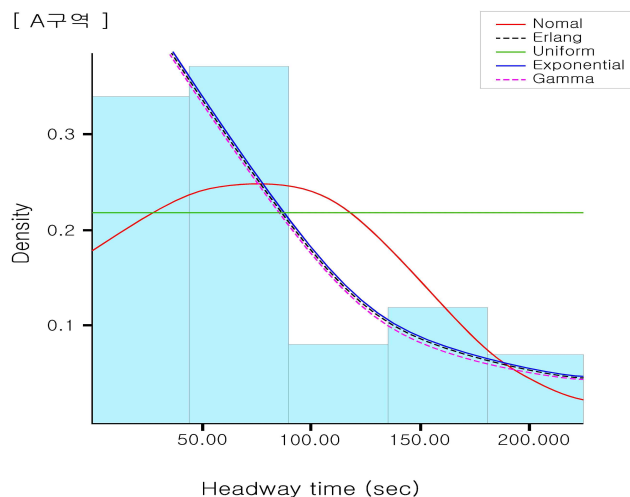
차두시간의 경우 이론 고찰에서 기존 연구에서 제시된 분포모형이 Kohler(1991)은 버스정류장에서의 차두시간분포는 포아송분포를 따른다고 설명하였으나, Fernandez(2001)은 항상 포아송 분포를 따르는 것은 아니라고 설명하였다. Weihua Gu et al(2011)은 차두시간에 대해 단일정차면 운영시 포아송, 균일, 일랑분포로 구분하여 설명하였다. 다중정차면 운영시는 차두시간은 포아송분포, 정차시간은 감마분포로 가정하고 대기비율이 0.15일 때 다중 정차면에서 버스 정차시간과 용량은 반비례관계가 성립하는 것으로 설명하였다.

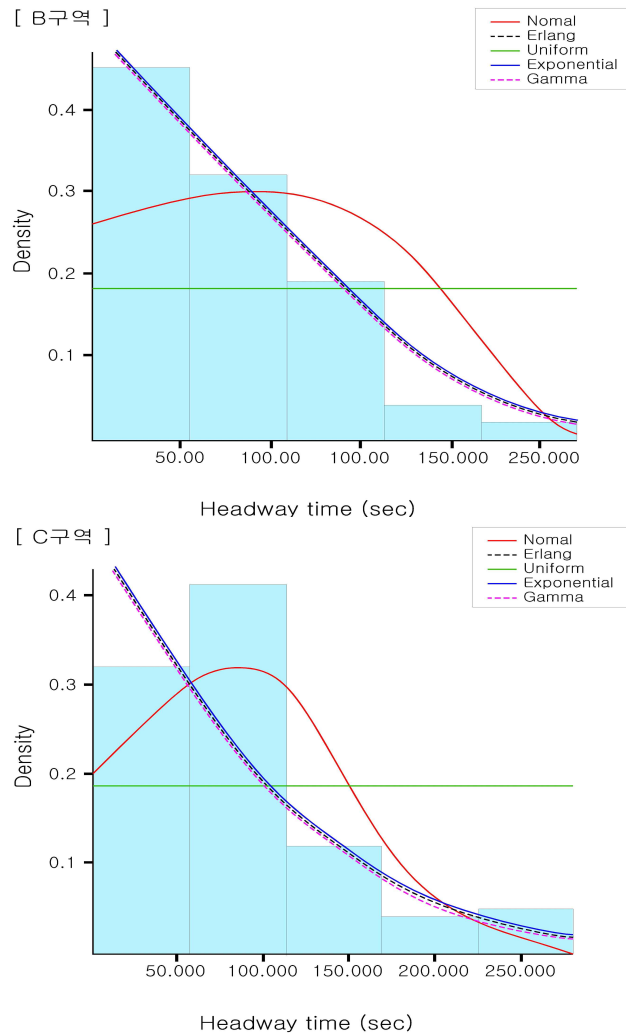
본 연구에서는 정류장에 도착하는 개별 버스를 대상으로 초(Sec) 단위의 차두시간에 대한 정확한 분포를 제시하였다. <표 3-12>와 같이 오전 첨두시 차두시간에 대한 Optimal Bin-width값은 각각 4.78, 5.38, 5.60이며, SE(Square Error)값은 A구역 Erlang (SE:0.029), B구역 Erlang, Exponential (SE:0.0299), C구역 Erlang, Exponential (SE:0.0531)으로 분석 되었다.

<표 3-12> 오전첨두시_차두시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE

항목	Optimal Bin-width	오전첨두 차두시간 추정분포 SE				
		Normal	Erlang	Uniform	Exponential	Gamma
A구역	4.78	0.0358	0.029	0.0425	0.031	0.0343
B구역	5.38	0.0603	0.0299	0.0616	0.0299	0.0385
C구역	5.60	0.0819	0.0531	0.125	0.0531	0.0645

오전 첨두시 A, B, C구역의 차두시간에 대해 정규분포, 일랑분포, 균일분포, 음지수분포, 감마분포 적용치를 그래프로 비교하면 <그림 3-14>와 같다.





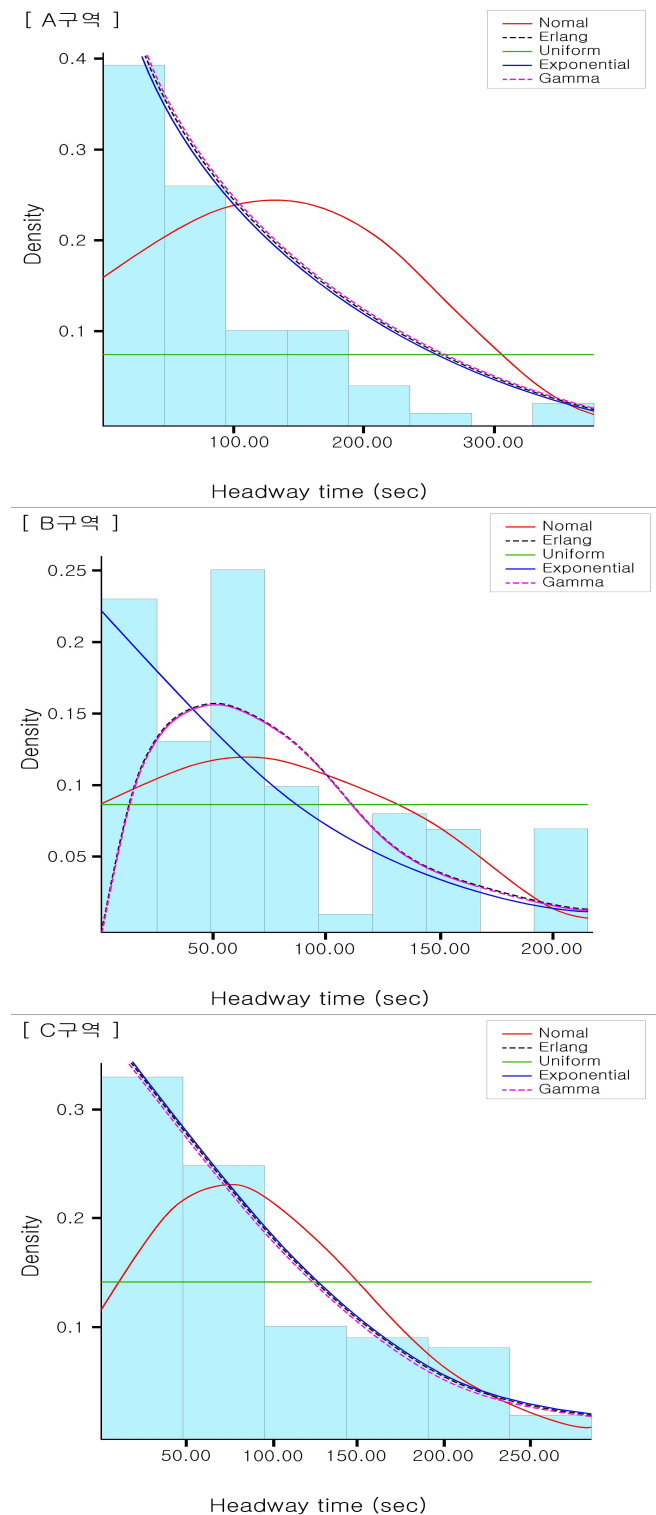
〈그림 3-14〉 오전첨두시 구역별 차두시간분포 비교

〈표 3-13〉과 같이 오후 첨두시 차두시간에 대한 Optimal Bin-width 값은 각각 7.56, 8.55, 5.66이며, SE(Square Error)값은 A구역 Erlang (SE:0.0204), B구역 Gamma (SE:0.0269), C구역 Erlang, Exponential (SE:0.0111)으로 분석 되었다.

〈표 3-13〉 오후첨두시_차두시간에 대한 각 Optimal Bin-width에 따른 추정분포의 SE

항목	Optimal Bin-width	오후첨두_차두시간 추정분포_SE				
		Normal	Erlang	Uniform	Exponential	Gamma
A구역	7.56	0.0899	0.0204	0.0883	0.0268	0.0266
B구역	8.55	0.0321	0.0311	0.0414	0.0311	0.0269
C구역	5.66	0.0488	0.0111	0.0927	0.0111	0.0309

오후 침두시 A, B, C구역의 차두시간에 대해 정규분포, 일랑분포, 균일분포, 음지수분포, 감마분포 적용치를 그래프로 비교하면 <그림 3-15>와 같다.



<그림 3-15> 오후침두시 구역별 차두시간분포 비교

3. 적합분포 검정

Massey(1951)에 따른 적합도 검정에는 χ^2 과 Kolmogorov-Smirnov 검정(Kolmogorov test of goodness of fit)이 있는데 일반적으로 χ^2 검정이 널리 쓰이는 방법이지만 기대도수가 5보다 작은 속성이 많이 있을 경우 기대도수가 작은 속성들을 합하여 χ^2 검정을 해야하는 제약을 가지고 있지만 K-S검정은 이러한 제약이 없다.

본 연구에서는 주어진 모집단 분포가 이론적으로 기대되는 분포와의 차이가 있는지를 검증해 준다. 표본의 누적확률분포와 가설로 설정된 모집단의 누적확률분포를 상호 비교하여 표본의 분포가 가정한 확률분포에 적합한가를 결정해주는 K-S검정을 실시하였다. 오전, 오후 각 구역별 정차시간, 차두시간 적합 분포모형 검정을 위한 가설은 다음과 같다.

H_0 : 오전, 오후의 각 구역별(A,B,C) 정차시간, 차두시간은 추정분포를 따른다.
 H_1 : 오전, 오후의 각 구역별(A,B,C) 정차시간, 차두시간은 추정분포를 따르지 않는다.

신뢰수준 95%로 검정한 결과 H_0 에 대한 기각여부는 <표 3-14>와 같다. 각 분포별 검정통계량의 P-value가 유의수준 0.05보다 작은 경우에는 본 연구에서 추정하는 정차시간과 차두시간의 분포에서 제외하였다. 정차시간과 차두시간 분포 선정에 있어서 P-value가 가장 높은 값을 기준으로 정차시간 분포는 오후 B구역, 차두시간 분포는 오전 A구역의 Erlang분포를 선정하였다.

<표 3-14> 정차시간과 차두시간 추정분포에 대한 통계검증

구분			추정분포	검정통계량	P-Value	H_0
정차시간	오전	A구역	Erlang	0.0892	0.15 > 0.05	accept
		B구역	Erlang	0.0981	0.15 > 0.05	accept
		C구역	Erlang	0.0668	0.15 > 0.05	accept
	오후	A구역	Erlang	0.0641	0.15 > 0.05	accept

차두시간		B구역	Erlang	0.0729	0.16 > 0.05	accept
		C구역	Erlang	0.168	0.01 < 0.05	reject
		A구역	Erlang	0.101	0.15 > 0.05	accept
	오전	B구역	Erlang, Exponential	0.207	0.01 < 0.05	reject
		C구역	Erlang, Exponential	0.195	0.01 < 0.05	reject
	오후	A구역	Erlang	0.198	0.01 < 0.05	reject
		B구역	Gamma	0.153	0.033 < 0.05	reject
		C구역	Erlang, Exponential	0.134	0.0843 > 0.05	accept

추정된 정차시간과 차두시간의 공통적인 분포는 Erlang분포로 Erlang분포의 경우는 포아송분포에서 N번째 사건이 발생할 때까지 걸리는 시간의 분포로 편의된 음지수분포(Shifted Negative Distribution)에서는 차두시간이 최소허용시간 t보다 적을 확률을 0이라고 보았으나 Erlang분포에서는 이들의 확률이 0이 아닌 아주 작은 값을 갖는다고 보며 Erlang분포의 확률함수는 식(3-10)과 같다.

$$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \quad \Delta(3-10)$$

이 분포에서 확률변수 t의 평균 및 분산은 다음과 같다. 이 분포함수의 매개변수 λ 와 k는 수집 자료로부터 계산되는 t의 평균값과 분산을 이용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\text{평균} = \frac{k}{\lambda}, \quad \text{분산} = \frac{k}{\lambda^2} \quad \text{이며, } \lambda = \frac{\text{평균}}{\text{분산}}, \quad k = \frac{(\text{평균})^2}{\text{분산}} \text{ 이다.}$$

Erlang분포의 누적분포함수는 식(3-11)과 같다.

$$P_{(h \leq t)} = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad \Delta(3-11)$$

여기서,

k=1이면, $P_{(h \leq t)} = 1 - e^{-\lambda t}$ 로서 음지수함수의 누적분포함수이며,

$$k=2\text{일때}, P_{(h \leq t)} = 1 - e^{-\lambda t} [1 + \lambda t]$$

$$k=3\text{일때}, P_{(h \leq t)} = 1 - e^{-\lambda t} [1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2}]$$

$$k=4\text{일때}, P_{(h \leq t)} = 1 - e^{-\lambda t} [1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} + \frac{(\lambda t)^3}{3!}]$$

본 연구에서는 버스정류장에 도착하는 개별 버스 단위의 정차시간 및 차두시간 분포는 Erlang분포로 선정하였다. 정차시간 및 차두시간 분포모형에 대한 채택은 P-value가 작을수록 귀무가설을 지지하는 정도가 약하므로 귀무가설을 기각하게 되며, P-value가 클수록 귀무가설을 지지하는 정도가 커짐으로 귀무가설을 채택하게 된다. <표 3-13>에서 선정된 정차시간과 차두시간에 대한 분포 모형 중 유의 확률 P-value가 높은 다음 분포모형으로 결정하였으며, 그 결과는 <표 3-15>와 같다.

<표 3-15> 정차시간 및 차두시간 분포 모형 선정

구분		분포값	P-Value	채택여부	분포모형
정차시간	오후 B구역	2+Erlang(11.2,3)	0.16	accept	$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}, t \geq 0$:2+Erlang(11.2,3)
차두시간	오전 A구역	2+Erlang(57.8,1)	0.15	accept	$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}, t \geq 0$:2+Erlang(57.8,1)

본 연구에서 다중 버스정류장내 개별 차량의 운행 특성 분석을 반영하는 정차시간과 차두시간의 분포모형에 있어 정차시간 및 차두시간 분포모형인 Erlang 분포모형의 λ 와 k 값에 따라 식(3-12), 식(3-13)과 같이 도출되었다.

$$f_{(t)} = 0.061e^{-0.061t} \frac{(0.061t)^{2.828-1}}{(2.828-1)!}, t \geq 0 \quad \Delta(3-12)$$

$$f_{(t)} = 0.02e^{-0.02t} \frac{(0.02t)^{1.455-1}}{(1.455-1)!}, \quad t \geq 0 \quad \Delta(3 \ 13)$$

정차시간 및 차두시간 분포 모형에서 이 분포함수의 매개변수 λ 와 k 가 관측 자료로부터 계산되는 확률변수 t 의 평균 및 분산에 의해 구할 수 있는데 누적 확률분포함수는 각각 다음과 같다.

[정차시간 Erlang분포의 경우]

$$f_{(t)} = 0.061e^{-0.061t} \frac{(0.061t)^{2.828-1}}{(2.828-1)!} \quad \text{이며}$$

여기서, $k=1$ 이면, $P(h \leq t) = 1 - e^{-0.061t}$

$$k=2 \text{이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.061t} [1 + 0.061t]$$

$$k=3 \text{ 이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.061t} \left[1 + 0.061t + \frac{(0.061t)^2}{2} \right]$$

$$k=4 \text{ 이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.061t} \left[1 + 0.061t + \frac{(0.061t)^2}{2} + \frac{(0.061t)^3}{3!} \right]$$

[차두시간 Erlang분포의 경우]

$$f_{(t)} = 0.02e^{-0.02t} \frac{(0.02t)^{1.455-1}}{(1.455-1)!} \quad \text{이며,}$$

여기서, $k=1$ 이면, $P(h \leq t) = 1 - e^{-0.02t}$

$$k=2 \text{ 이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.02t} [1 + 0.02t]$$

$$k=3 \text{ 이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.02t} \left[1 + 0.02t + \frac{(0.02t)^2}{2} \right]$$

$$k=4 \text{ 이면, } P(h \leq t) = 1 - e^{-0.02t} \left[1 + 0.02t + \frac{(0.02t)^2}{2} + \frac{(0.02t)^3}{3!} \right]$$

4. 모형 검증

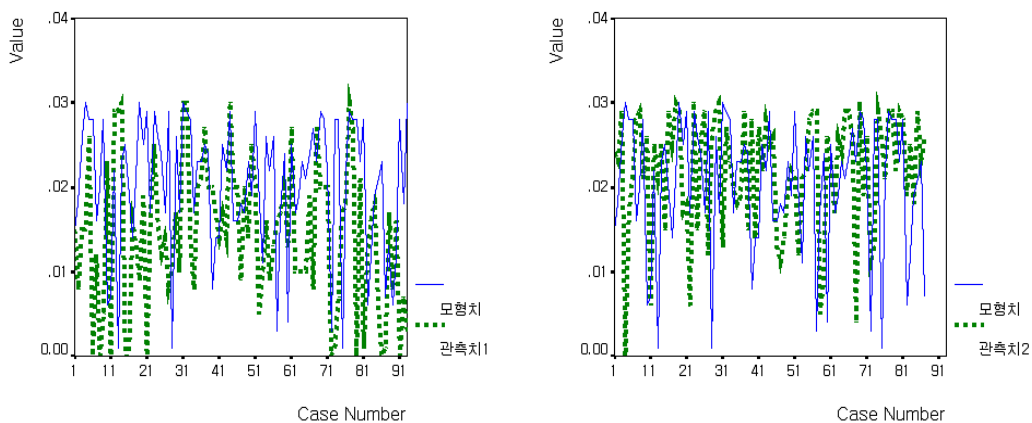
다중 버스정류장내 개별 버스의 운행 특성 분석을 통해 선정된 정차시간과 차두시간 분포 모형에 대하여 검증하기 위하여 검증에 사용하는 자료는 모형치 자료 취득일과 동일 요일 수집 자료를 기준으로 검증하였다. 정차시간, 차두시간에 대한 본 연구에서 채택한 모형의 RMSE값은 <표 3-16>과 같다.

- 모형치 : 2016년 5월 셋째 주 화요일(2016년 5월 17일) 오후 침두시(18:00~20:00)
- 관측치1 : 9월 셋째 주 화요일(2016년 9월 20일) 오전 침두시(07:00~09:00)
- 관측치2 : 9월 셋째 주 화요일(2016년 9월 20일) 오후 침두시(18:00~20:00)

<표 3-16> 정차시간 및 차두시간에 대한 모형치와 관측치 RMSE

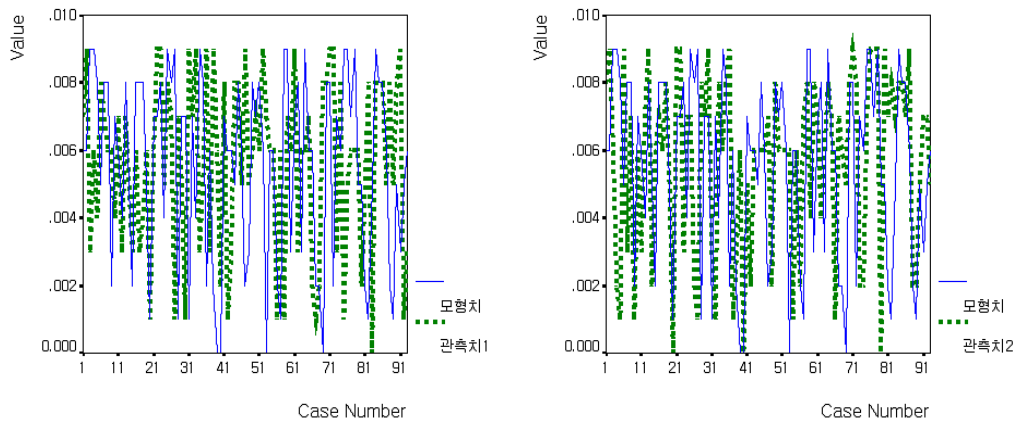
구분			RMSE ⁴⁶⁾
정차시간	Erlang	모형치 vs 관측치1	0.015
		모형치 vs 관측치2	0.011
차두시간	Erlang	모형치 vs 관측치1	0.004
		모형치 vs 관측치2	0.003

본 연구에서 채택한 정차시간 및 차두시간 분포모형(Erlang분포)의 일반화를 위해 모형치와 관측치1(오전 침두시)와 관측치2(오후 침두시)의 RMSE값 검토 결과 모형이 현장 관측치와 차이가 통계적 범위내에서 미비한 것으로 나타났다. 정차시간과 차두시간의 모형치와 관측치에 대한 분포는 <그림 3-16>, <그림 3-17>과 같다.



<그림 3-16> 정차시간 분포 모형치와 관측치1,2 비교

46) RMSE : Root Mean Square Error, 추정값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이



〈그림 3-17〉 차두시간 분포 모형치와 관측치1,2 비교

본 연구에서 다중 버스정류장내 이용 개별 버스의 운행 특성 분석을 통해 도출된 정차시간과 차두시간 분포 모형이 현장에서 관측된 정차시간 및 차두시간 분포가 차이(H_0 : 모형치 분포모형 = 관측치 분포모형)가 있는지를 신뢰수준 95%로 X^2 -test 검정한 결과 <표 3-17>과 같다.

〈표 3-17〉 정차시간 및 차두시간 분포 모형 X^2 -test

구분		Pearson 유의확률(x^2)	H_0
정차시간	모형치 vs 관측치1	1.83 > 0.05	accept
	모형치 vs 관측치2	0.39 > 0.05	accept
차두시간	모형치 vs 관측치1	1.00 > 0.05	accept
	모형치 vs 관측치2	1.00 > 0.05	accept

검정결과 유의확률이 유의수준 0.05보다 높아 정차시간과 차두시간의 모형치와 관측치1, 2는 귀무가설을 채택하여 차이가 없는 것으로 검정되어 본 연구에서 선정한 정차 및 도착분포는 첨두시에 적용가능한 분포로 제시하였다.

[첨두시_정차시간 분포 모형(Erlang)]

$$f_{(t)} = 0.061e^{-0.061t} \frac{(0.061t)^{2.828-1}}{(2.828-1)!}, t \geq 0$$

[첨두시_차두시간 분포 모형(Erlang)]

$$f_{(t)} = 0.02e^{-0.02t} \frac{(0.02t)^{1.455-1}}{(1.455-1)!}, t \geq 0$$

5. 모형 활용

버스정류장 용량(정차면수)의 적정성 검토를 위해 첫째, 신호운영 현황, 노선별 평균 승하·차시간, 정차면 및 정류장 최대용량, 버스대수 등을 반영하는 TCQSM(2013)에 의한 방법, 둘째, 시간당 정류장에 도착하는 버스대수, 노선별 평균승하·차시간 등으로 정류장에 버스가 n 대 도착할 확률을 산정하는 포아송분포에 의한 방법, 셋째, 분당 버스정차대수를 평균 정차 회전율로 나눠 버스 정차면을 산정하는 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준」에 따른 정차면수 산정 방법을 적용할 수 있다. TCQSM(2013)의 경우 정차면수와 버스정류장의 이용효율에 따른 유효정차면수를 의미하는 버스정류장의 이용효율이 정차면수 5개까지 기준을 두고 있어 송내 환승시설의 경우 그 이상일 경우 적용시 가정이 반영되어야 하는 문제점을 가지고 있다. 포아송분포와 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준」에 따른 방법은 정차면 효율이 미고려 되어 정확한 정류장 용량 산정이 어려운 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 개별 버스 단위의 미시적인 실시간 BIS 정류장 진입 이벤트 자료를 토대로 도착분포 행태를 반영하는 차두시간 분포모형을 이용하여 각 정류장별 적정 주차면수를 검토하였다. 최소 차두시간은 정류장 이용 차량 85th 값을 사용하였다. 본 연구 침두시 차두시간 분포모형(Erlang분포)의 누적분포 확률을 적용하여 85th 차두시간보다 클 확률이 85%이상이거나 같을 때의 주차면 적정 용량 여부를 판단한 결과 <표 3-18>에서와 같이 각 구역별로 정차면을 2개면으로 운영할때 85th 누적분포 확률이 오전, 오후 모든 구역에서 90.5%~99.9%범위로 분석되어 적정한 것으로 평가 되었다.

<표 3-18> 차두시간 분포모형에 따른 적정 주차면수 평가

구 분	평균차두시간	85 th 차두시간	k	주차면수	85 th 누적분포 확률(%)
오전	A구역	72.20	6	2	$P(h>6) \geq 85\%$ 일때 99.3%
	B구역	68.58	16	2	$P(h>16) \geq 85\%$ 일때 95.9%
	C구역	75.96	4	3	$P(h>4) \geq 85\%$ 일때 99.9%
오후	A구역	74.61	5	1	$P(h>5) \geq 85\%$ 일때 90.5%

	B구역	72.87	15	2	2	$P(h>15) \geq 85\%$ 일때 96.3%
	C구역	78.92	4	1	2	$P(h>4) \geq 85\%$ 일때 92.3%

결과적으로 본 연구에서는 적절한 시설규모를 결정하기 위해 개별 버스의 미시적인 도착분포 행태를 설명해 주는 차두시간 분포모형을 제시하였다. 실무에서는 정책적인 의사결정 기준값을 정하여 본 모형을 활용할 수 있으리라 판단한다. 송내 환승시설을 구축·운영함에 있어 버스정류장(정차면수) 용량 결정에 있어 너무 과다한 시설 결정으로 효율적인 예산 집행이 어려워질 수 있다. 적절한 시설규모를 반영하고 운영 효율성을 최적화하는 작업이 수반되어야 한다.

제3장에서 검토된 6면을 토대로 운영 효율성을 최적하기 위해 제4장에서는 실무현장에서 적용하는 휴리스틱한 접근방법에 의한 노선 배분 방식을 제시하였다. 제5장에서는 정수계획법을 활용하여 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간을 최소화하는 최적화 모형을 제시하였다.

제4장 휴리스틱 접근법에 의한 노선배분

제1절 방법론 및 전제조건

버스정류장은 「여객자동차운수사업법」 시행규칙 제4조 제1항에 의거 시·도에서 설치하고 운영하도록 하고 있다. 버스정류장의 설치·운영에 관한 명확한 기준과 가이드라인 부재로 일반적으로 운수회사 사업계획이나 이용자의 요구 등에 따라 담당자의 재량권으로 업무를 처리하는 실정이다. 배차간격, 운행횟수, 운행대수 등 인가 자료를 통해 버스정류장에 노선운행을 계획할 때 버스정류장에 개별 버스 단위의 운행시격이나 버스정류장에서의 정차패턴 등을 반영하지 못하고 동일한 도착분포와 정차분포 등을 포함하는 노선운영 계획으로 실질적인 계획이 될 수 없다. 이에 객관적이고 합리적인 의사결정에 한계가 있다.

본 연구에서는 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」을 적용하여 개별 버스 운행패턴을 잘 반영할 수 있는 BIS 및 검지기 데이터를 토대로 실무에 쉽게 활용할 수 있도록 휴리스틱한 노선배분 방안을 매뉴얼화하여 단계별로 제시 하였다.

환승시설내 대중교통을 배치함에 있어 관련지침으로 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」의 제3장 시설의 배치기준에 있어 대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준은 다음과 같다.

[대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준]

1. 목적지의 방향이 유사한 버스 노선들을 하나의 정류장 또는 가까운 정류장에 배치한다.
2. 첨두시의 시간당 버스차량 정차대수가 정류장별로 균등해지도록 버스노선을 배치한다.

“대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준” 자체가 기준이 모호하다. 송내 환승시설의 노선 배분 문제에 대하여 “대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준”을 적용하여 버스

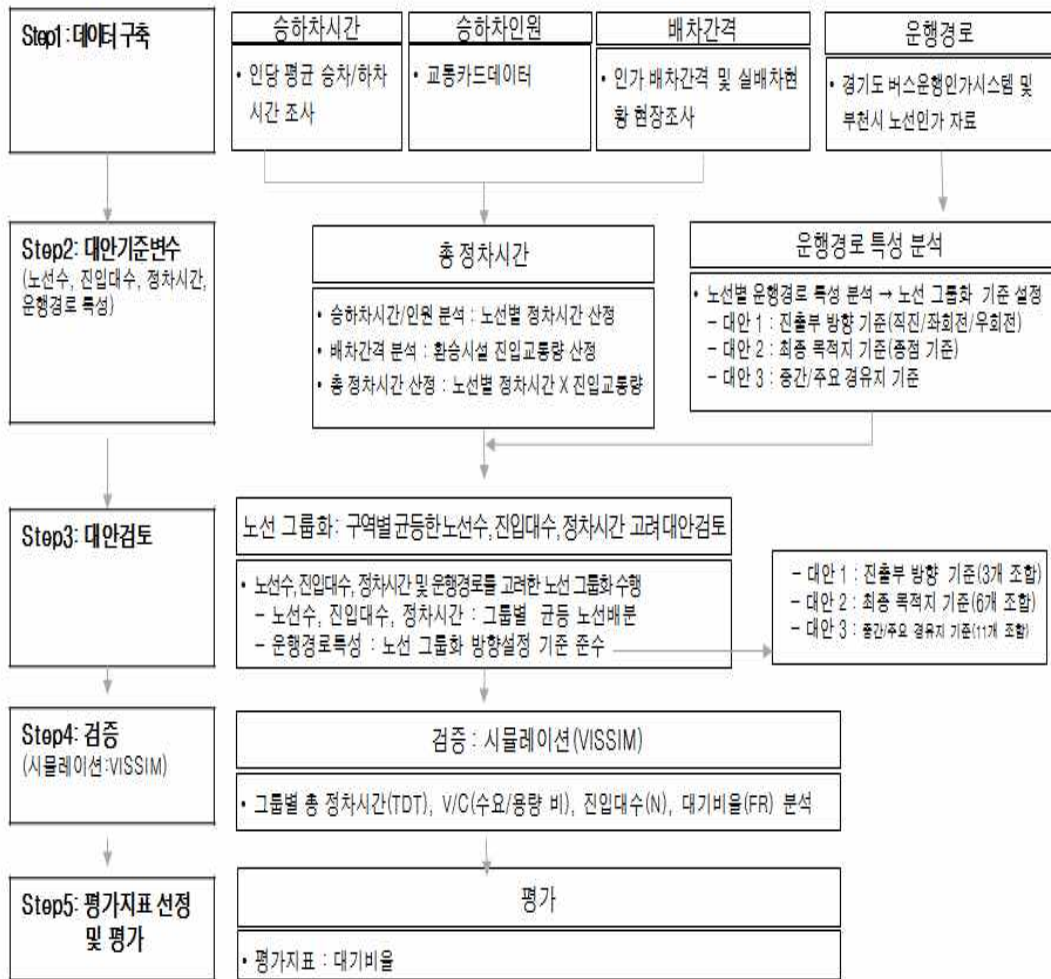
노선을 배치함에 있어서 계량적인 기준이 없어 담당자의 판단이 영향을 미칠 수 있는 문제점이 있다. 유사한 버스 노선들을 정의함에 있어 담당자마다 각기 다른 기준으로 판단할 수 있다. 침두시 시간당 정차 대수만을 고려하여 노선을 배치하는 것이 적정한지에 대한 검토도 필요하다.

실제로 담당자마다 실무현장에서의 경험적 지식과 전문가적인 판단을 기초로 하여 만족할만한 수준의 기준을 찾거나 이해당사자간의 협의를 통해 상황별로 각기 다른 기준을 적용하여 의사결정을 하게 된다.

본 연구에서는 노선운영에 있어 실무현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준」의 제3장 시설의 배치 기준에 있어 대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준을 적용하였다. 노선 인허가 자료, BIS 및 검지기 자료 등을 토대로 노선 경로의 특성을 분석하여 대안을 작성하고 그 대안별 노선수, 진입대수, 정차시간이 균등한 대안을 검토하는 휴리스틱 접근법에 대하여 제시하였다. 대안 검토를 위한 기초자료와 휴리스틱 접근법에 따라 채택한 노선배분 대안을 평가하기 위해 VISSIM을 활용하였다. 시뮬레이션시 이용한 입력 자료는 <표 4-1>과 같다. 실무에 활용하기 쉽도록 단계별 절차를 매뉴얼 방식으로 정리하면 <그림 4-1>과 같다.

<표 4-1> 대안선정 기초자료 및 평가자료 조건

대안 선정을 위한 기초자료 조건	평가(시뮬레이션 입력자료)자료 조건
<ul style="list-style-type: none"> - 2016. 5. 17. 오후 침두시 18:00~19:00 - 항목 : 승하 · 차시간, 배차간격, 운행 경로(현장조사 및 인가자료) : 승하 · 차인원(교통카드데이터), 정차시간(검지기 수집정보) 	<ul style="list-style-type: none"> - 2016. 6.28. 오후 침두시 18:00~19:00 - VISSIM 입력변수 : 차로수 및 차로 폭, 도로기하구조, 차로운영계획 : 방향별 교통량, 신호값 : 정류장형태, 베이유무, 노선, 정차시간, 배차간격 ※ 정차시간 : 검지기 자료 적용



〈그림 4-1〉 휴리스틱 접근방법에 의한 노선 배분 단계별 절차

본 연구에서 휴리스틱 접근법에 의한 노선배분에 문제 해결의 전제조건은 다음과 같다.

- “대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준”에 따라 노선 목적지, 정류장별 정차대수 균등배분 기준을 적용한다.
 - 노선별 정차시간은 노선별 승하 · 차시간과 승하 · 차 인원으로 산출하고 정차면에 검지기가 설치되어 있을 경우는 정차면 검지기 진출입 이벤트 정보로 대체하여 산출 가능하다. 배차간격을 통해 시간당 진입대수를 결정할 수 있다. 노선별 승하 · 차시간과 승하 ·

차 인원으로 산출된 노선별 정차시간과 배차간격을 통해 산출된 시간당 진입대수로 총 정차시간을 산출할 수 있다.

- 노선배분에 있어 각 구역별 노선배분 규칙은 첫 번째 각 노선의 운행경로 특성 분석을 통해 환승시설 진출시 진출방향기준(좌/우/직), 목적지(종점) 기준, 중간/주요 경유지 기준으로 노선을 그룹핑(Grouping)하는 대안을 작성하고 두 번째는 첫 번째 규칙에 따라 작성된 대안의 각 구역에 배분된 노선의 노선수, 진입대수, 총 정차시간이 최대한 균등한 대안을 채택하고 환승시설 진입부의 혼잡방지를 위해 C구역은 가장 작은 노선수, 진입대수, 총 정차시간이 되도록 고려한다.
- 대기버스 발생 조건은 버스 진입 시점(t 초)에 정차면이 모두 선 도착 버스가 정차하고 있어 대기하는 경우이다.
- 각 개별 버스는 해당 노선의 평균 정차시간만큼은 반드시 소모한다.
- 모든 노선은 A, B, C 구역중 하나의 구역에만 정차할 수 있다.

제2절 단계별 접근방법

<그림 4-1>의 노선배분 접근방법을 세부적으로 설명하면 다음과 같다. [step1]~[step3]의 분석 자료는 <표 4-2> 노선을 대상으로 2016년 5월 17일 환승시설오후 침두시인 18:00~19:00 자료를 토대로 분석하였다.

[step 1] 검토 가능한 변수를 대상으로 데이터 구축

- (1.1) 인당 평균 승하 · 차시간(A_t) 현장조사
- (1.2) 승하 · 차인원(A_p) : 교통카드데이터
- (1.3) 배차간격(T_i) 조사
 - 실배차 간격 : 현장조사
 - 인가 배차간격 : 경기도 버스운송관리시스템 노선별 인가 배차간격
- (1.4) 운행경로(T_r) : 경기도 버스운송관리시스템 노선별 인가 운행경로

〈표 4-2〉 노선별 승하·차인원, 배차간격, 운행경로 현황

노선	시 점	주 요 경 유 지	종 점	배 차 간 격 (분)		승하·차인원	
				인 가	실 배 차	승 차	하 차
1	반월공단	안산역, 시흥시청, 송내역	홈플러스	40	56.2	0	7
700	상동차고지	송내역, 부천시청, 양천구청	63빌딩	12	12.0	0	10
12-1	대장동	오정동, 송내역, 중동역, 소사동	괴안사거리	5	5.9	35	171
15	송내역	상동역, 부천체육관, 한라마을	한라마을앞	6	7.7	158	194
16	삼산시장	진달래마을, 세이브존, 백송마을	송내역	5	5.3	178	326
23	화곡역	부천시청역, 신중동역, 송내역	화곡역	6	10.6	99	158
23-5	소사차고지	역곡역, 부천시청, 목련마을	송내역	13	32.1	18	86
25	범박동	역곡남부역, 소사동, 송내역	반달마을	9	12.8	80	85
27	송내역	경남아파트, 푸른마을, 홈플러스	소풍터미널	5	6.6	111	195
33	송내역	현대백화점, 춘의역, 여월지구	화곡역	12	33.9	11	22
50-1	송내역	현대백화점, 테크노파크, 고강동	방화중학교	8	10.6	174	156
53	소사고	소사구청, 송내역, 상동역	아인스월드	6	7.3	11	57
66	송내역	상동역, 은하마을, 부천북부역	국민은행	10	9.0	87	99
673	자동차단지	송내역, 부천시청, 오정동, 화곡역	이대부고	14	13.0	36	0
70	상동차고지	송내역, 부천시청, 원종동	당산역	8	9.6	19	0
70-3	상동차고지	송내역, 약대오거리, 오정동	신세계백화점	7	7.2	136	6
7-1	테크노파크	부천체육관, 현대백화점, 순천향병원	송내역	6	6.5	274	235
7-4	상동차고지	송내역, 중앙공원, 오정동	김포공항	13	46.6	16	17
8	고강차고지	원종동, 송내역, 테크노파크	삼정동	9	15.3	6	24
83	대장차고지	송내역, 부천시장, 역곡역	여의도	7	6.6	65	249
96	범박동	소사구청, 소사역, 시민회관	송내역	14	25.0	8	28
96-1	송내역	부천정보산업고, 부개동	서해그랑블	15	22.1	26	158

[step 2] 노선 그룹핑(Grouping)을 위한 대안 작성 기준 선정

- 노선별 운행경로 특성(진출부 방향기준, 최종 목적지, 중간/주요 경유지 기준)
- 노선수, 진입대수, 정차시간

(2.1) 운행경로(T_r) 특성 분석

- (2.1.1) 대안 1 : 진출부 방행 기준(직진/좌회전/우회전)
- (2.1.2) 대안 2 : 최종 목적지 기준(종점 기준)
- (2.1.3) 대안 3 : 중간/주요 경유지 기준

(2.2) 총 정차시간(TDT) 산정 <표 4-3>

(2.2.1) 노선별 정차시간(DT_n) 산정

$$DT_n = A_t(n) \times A_p(n), n = 1, 2, \dots, 22$$

(2.2.2) 배차간격(T_i)을 통해 노선별 전체 진입교통량(N) 산정

(2.2.3) 총 정차시간(TDT) 산정

$$TDT_n = DT_n \times N, n = 1, 2, \dots, 22$$

〈표 4-3〉 노선별 시간당 총 정차시간

구분	노선명	정차시간 (초/대)	총정차 시간(초)	구분	노선명	정차시간 (초/대)	총정차 시간(초)	구분	노선명	정차시간 (초/대)	총정차 시간(초)
1	7-1	52.1	521	9	12-1	20	240	17	25	20	140
2	15	39.4	394	10	96-1	50.9	203.6	18	33	20	100
3	16	32.1	385.2	11	53	20	200	19	700	20	100
4	50-1	43	344	12	23-5	32.1	160.5	20	96	21.1	84.4
5	23	33.9	339	13	7-4	32.1	160.5	21	673	20	80
6	70-3	33.9	305.1	14	70	20	160	22	1	20	40
7	27	24.8	297.6	15	66	24.8	148.8				
8	83	28.3	254.7	16	8	20	140				

주: 본 연구에서는 정차면 검지기에서 수집되는 정차시간 적용

[step 3] 대안 선정 기준에 따른 대안 검토 : 노선별 운행경로 특성에
따른 대안의 구역별 노선수, 진입대수, 정차시간 검토

(3.1) 운행경로(T_r) 특성에 따라 대안 분류〈표 4-4〉

- 대안 1 : 진출부 방향 기준(직진/좌회전/우회전 : 3개 조합)
- 대안 2 : 최종목적지 기준(6개 조합)
- 대안 3 : 중간/주요 경유지 기준(11개 조합)

(3.2) 운행경로(T_r)에 따라 그룹핑(Grouping) 노선에 대해 구역별
노선수, 진입대수, 정차시간 검토

〈표 4-4〉 운행경로 특성분석에 따른 대안 검토

대안 구분	방법	검토 결과	세부 대안	구역별 배치 방법		진입노선		분석결과						검토결과
						관내	관외	노선수	진입대수	총정차시간				
대안 1	진출 회전방 향별 그룹	송내역 인근지 역이용 자유리	대안 1-1	A구역	진출부 우회전, 직진 노선 배치	8, 12-1, 25, 53, 70-3, 83, 96	1	8	36.4%	63	45.0%	1,737.0	36.7%	A구역진입대수 (45.0%)높음 B구역진입노선 수 (45.5%)높음
				B구역	진출부 좌회전(송내대 로 방향) 노선 배치	7-1, 7-4, 16, 23, 27, 33,	673	10	45.5%	57	40.7%	2,048.0	43.3%	

대안 2	화	중장거리이용자불리 →상동, 오정구, 서울, 인천 경유노선 구별 혼재	대안 1-2 (대안1-1 보완)	C구역	진출부 좌회전(부일로 방향) 노선 배치	50-1, 70, 700 15, 23-5, 66, 96-1	-	4	18.2%	20	14.3%	945.0	20.0%	
					진출부 회전방향 기준 그룹선정 및 배치	20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
				A구역	진출부 우회전, 직진노선 + 김포공항 접근노선 배치	8, 12-1, 25, 53, 70-3, 83, 96 + 7-4, 50-1	1	10	45.5%	73	52.1%	1,950.0	41.2%	
			대안 1-3 (대안 1-1 보완)	B구역	진출부 좌회전(송내대로 방향) 노선 배치	7-1, 16, 23, 27, 33, 70, 700	673	8	36.4%	47	33.6%	1,835.0	38.8%	A,B구역총정차시간비교적균등 A구역노선수(45.5%), 진입대수(52.1%) 높음
				C구역	진출부 좌회전(부일로 방향) 노선 배치	15, 23-5, 66, 96-1	-	4	18.2%	20	14.3%	945.0	20.0%	
				대안 1의 B구역 김포공항 방향 노선 A구역 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
				A구역	진출부 우회전, 직진노선 배치	8, 12-1, 25, 53, 70-3, 83, 96	1	8	36.4%	63	45.0%	1,737.0	36.7%	A구역진입대수(45.0%)높음 C구역기준노선 대비김포공항진입노선의방향성이질감 →이용자혼란 우려
				B구역	진출부 좌회전(송내대로 방향) 노선 배치	7-1, 16, 23, 27, 33, 70, 700	673	8	36.4%	47	33.6%	1,835.0	38.8%	
				C구역	진출부좌회전(부일로 방향)노선배치 + 김포공항 접근노선 배치	15,23-5,66,96-1 + 7-4, 50-1	-	6	27.3%	30	21.4%	1,158.0	24.5%	
				대안 1의 B구역 김포공항 방향 노선 C구역 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
	노선별 최종목적지 기준 그룹화	중간경유지이용자불편 →구역별중간경유노선 혼재	대안 2-1	A구역	오정구 방향 노선 배치	7-1, 7-4, 8, 23, 50-1, 70, 70-3	673	8	36.4%	43	30.7%	1,499.0	31.7%	C구역 진입대수 (40.0%) 높음
				B구역	원미구 방향 노선 배치	15, 16, 27, 33, 66, 96-1, 700	-	7	31.8%	40	28.6%	1,690.0	35.7%	
				C구역	소사구 방향 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 83, 96	1	7	31.8%	57	40.7%	1,541.0	32.6%	
				부천시내 최종목적지 기준 노선배치(구별 배치)		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 2-2	A구역	송내역 기준 동북방향 노선 배치	7-1, 7-4, 8, 15, 23, 33, 50-1, 66, 70, 70-3, 700	673	12	54.5%	64	45.7%	2,364.0	50.0%	A구역 노선수(54.5%), 진입대수(45.7%), 총정차시간(50.0%) 집중
				B구역	송내역 기준 동남방향 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 83, 96	1	7	31.8%	57	40.7%	1,541.0	32.6%	
				C구역	송내역 기준 서북방향 노선 배치	16, 27, 96-1	-	3	13.6%	19	13.6%	825.0	17.4%	
				부천시계 기준 방면별 노선배치(송내역 기준)		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 2-3	A구역	동남방향(소사구, 영등포구, 경기도) 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 70, 70-3, 83, 96, 700	1	10	45.5%	72	51.4%	1,932.0	40.8%	A구역노선수(45.5%), 진입대수(51.4%) 집중
				B구역	북방향(오정구, 강서구, 인천) 노선 배치	7-1, 8, 16, 23, 33, 50-1, 96-1	673	8	36.4%	45	32.1%	1,704.0	36.0%	
				C구역	원미구 방향 노선 배치	7-4, 15, 27, 66	-	4	18.2%	23	16.4%	1,094.0	23.1%	
				노선별 종착지 기준 방향별 노선배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 2-4	A구역	동남방향(소사구, 영등포구, 경기도) 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 70, 70-3, 83, 96, 700	1	10	45.5%	72	51.4%	1,932.0	40.8%	A구역진입대수(51.4%)집중 B구역총정차시간(50.2%)집중
				B구역	동북방향(원미구, 강서구, 마포구) 노선 배치	7-1, 7-4, 15, 27, 66, 23, 33, 50-1, 96-1	673	10	45.5%	56	40.0%	2,375.0	50.2%	
				C구역	북방향(오정구, 인천) 노선 배치	8, 16	-	2	9.1%	12	8.6%	423.0	8.9%	
				노선별 종착지 기준 방향별 노선배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 2-5	A구역	부천시, 경기도 종착지 노선 배치	7-1, 8, 12-1, 15, 23-5, 25, 27, 53, 66, 96	1	11	50.0%	74	52.9%	2,603.0	55.0%	A구역노선수(50.0%), 진입대수(52.9%) 집중

대안 3	중간/주요경유지 그룹화	부천시 관내 이용자가 장유리 → 중동 등 중간 지역 경유 노선 그룹화	장거리 이용자 불리	대안 3-4 (대안 3-3 보완)	A구역	서울 종착지 노선 배치	7-4, 23, 33, 50-1, 70, 70-3, 83, 700	673	9	40.9%	55	39.3%	1,654.0	35.0%	A,B,C구역 정체시간 비교적 균등
					C구역	인천 종착지 노선 배치	16, 96-1	-	2	9.1%	11	7.9%	473.0	10.0%	
					노선별 종착지 기준 지자체별 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
					A구역	서울 종착지 노선 배치	7-4, 23, 33, 50-1, 70, 70-3, 83, 700	673	9	40.9%	55	39.3%	1,654.0	35.0%	
					B구역	소사구, 인천, 경기도 종착지 노선 배치	12-1, 16, 23-5, 25, 53, 96, 96-1	1	8	36.4%	51	36.4%	1,515.0	32.0%	A,B,C구역 정체시간 비교적 균등
					C구역	오정구, 원미구 종착지 노선 배치	7-1, 8, 15, 27, 66	-	5	22.7%	34	24.3%	1,561.0	33.0%	
					노선별 종착지 기준 지자체별 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
					A구역	원미구 주요경유 노선 배치	7-1, 7-4, 15, 16, 23, 27, 33, 50-1, 66, 70, 70-3, 96-1, 700	673	14	63.6%	80	57.1%	3,128.0	66.1%	A구역 노선수(63.6%), 진입대수(57.1%), 총정차시간(66.1%) 집중
					B구역	소사구 주요경유 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 83, 96	1	7	31.8%	57	40.7%	1,541.0	32.6%	
					C구역	오정구 주요경유 노선 배치	8	-	1	4.5%	3	2.1%	61.0	1.3%	
					부천시내 기준 주요경유지별 노선 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
대안 3	중간/주요경유지 그룹화	부천시 관내 이용자가 장유리 → 중동 등 중간 지역 경유 노선 그룹화	장거리 이용자 불리	대안 3-2 (대안 3-1 보완)	A구역	원미구 주요경유 노선 배치	15, 16, 23, 27, 33, 66, 70, 96-1, 700	-	9	40.9%	50	35.7%	2,130.0	45.0%	A구역 총정차시간(45.0%) 집중
					B구역	소사구 주요경유 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 53, 83, 96	1	7	31.8%	57	40.7%	1,541.0	32.6%	
					C구역	오정구 주요경유 노선 배치 + 오정동 경유 노선 배치	8 + 7-1, 7-4, 50-1, 70-3	+ 673	6	27.3%	33	23.6%	1,059.0	22.4%	
					대안 10 A구역 오정동 경유 노선 C구역 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
				대안 3-3	A구역	기타지역 주요경유 노선 배치	16, 23, 23-5, 25, 33, 50-1, 53, 70, 70-3, 96, 700	673	12	54.5%	68	48.6%	2,064.0	43.6%	A구역 노선수(54.5%), 진입대수(48.6%) 집중
					B구역	상동 주요경유 노선 배치	7-1, 7-4, 15, 27, 96-1	-	5	22.7%	28	20.0%	1,451.0	30.7%	
					C구역	중동 주요경유 노선 배치	8, 12-1, 66, 83	1	5	22.7%	44	31.4%	1,215.0	25.7%	
					동 기준 주요경유지별 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
				대안 3-4 (대안 3-3 보완)	A구역	중동 주요경유 노선 배치 + 중동 경유 노선 배치	8, 12-1, 66, 83 + 23, 33, 70, 700	1	9	40.9%	61	43.6%	1,805.0	38.2%	C구역 총정차시간(38.3%)과다
					B구역	기타지역 주요경유 노선 배치	23-5, 25, 50-1, 53, 70-3, 96	673	7	31.8%	42	30.0%	1,112.0	23.5%	
					C구역	상동 주요경유 노선 배치 + 상동 경유 노선 배치	7-1, 7-4, 15, 27, 96-1 + 16	-	6	27.3%	37	26.4%	1,813.0	38.3%	
					대안 10 A구역 중동 경유 노선 중동방면(A구역) 및 상동방면(C구역) 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
대안 3-6 (대안 3-5)	중간/주요경유지 그룹화	부천시 관내 이용자가 장유리 → 중동 등 중간 지역 경유 노선 그룹화	장거리 이용자 불리	대안 3-5	A구역	중동, 상동 주요경유 노선 배치	7-1, 15, 16, 27, 50-1, 66, 96-1, 700	673	9	40.9%	59	42.1%	2,294.0	48.5%	A구역 총정차시간(48.5%) 집중 C구역 진입대수(37.9%), 총정차시간(30.1%) 높음
					B구역	도당동, 춘의동 주요 경유 노선 배치	7-4, 8, 23, 23-5, 33, 70, 70-3	-	7	31.8%	28	20.0%	1,014.0	21.4%	
					C구역	소사구 주요경유 노선 배치	12-1, 25, 53, 83, 96	1	6	27.3%	53	37.9%	1,422.0	30.1%	
					동 기준 주요경유지별 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
				대안 3-6 (대안 3-5)	A구역	중동, 상동 주요경유 노선 배치 + 중동역 경유 노선 배치	7-1, 15, 16, 27, 50-1, 66, 96-1, 700	673 + 1	10	45.5%	61	43.6%	2,315.0	48.9%	A구역 노선수(45.5%), 총정차시간(48.9%) 집중 C구역 진입대수(37.9%) 높음

			보완)	B구역	도당동, 춘의동 주요 경유 노선 배치	7-4, 8, 23, 23-5, 33, 70, 70-3	-	7	31.8%	28	20.0%	1,014.0	21.4%	6.4%)과다
				C구역	소사구 주요경유 노선 배치	12-1, 25, 53, 83, 96	-	5	22.7%	51	36.4%	1,401.0	29.6%	
				대안 14 C구역 중동역 경유노선 A구역 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 3-7 (대안 3-5 보완)	A구역	중동, 상동 주요경유 노선 배치	7-1, 15, 16, 27, 50-1, 66, 96-1	673	8	36.4%	55	39.3%	2,257.0	47.7%	A구역총정차시 간 (47.7%)집중 C구역진입대수(3 7.9%),총정차시 간(30.1%)높음
				B구역	도당동, 춘의동 주요 경유 노선 배치	7-4, 8, 23, 23-5, 33, 70, 70-3 + 700	-	8	36.4%	32	22.9%	1,051.0	22.2%	
				C구역	소사구 주요경유 노선 배치	12-1, 25, 53, 83, 96	1	6	27.3%	53	37.9%	1,422.0	30.1%	
				대안 14 A구역 춘의동 경유노선 B구역 배치		20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 3-8	A구역	동북방향(중동, 오정구) 주요경유 노선 배치	7-1, 7-4, 8, 23, 33, 50-1, 70, 70-3	673	9	40.9%	46	32.9%	1,612.0	34.1%	A,B,C구역 정체시간 비교적 균등
				B구역	서북방향(상23동, 인천) 주요경유 노선 배치	15, 16, 27, 53, 66, 96-1, 700	-	7	31.8%	48	34.3%	1,864.0	39.4%	
				C구역	동남방향(소사구) 주요 경유 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 83, 96	1	6	27.3%	46	32.9%	1,254.0	26.5%	
					주요경유지 방향별 배치(송내역 기준)	20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 3-9 (대안 3-8 보완)	A구역	동북방향(중동, 오정구) 주요경유 노선 배치 + 중동 경유노선 배치	7-1, 7-4, 8, 23, 33, 50-1, 70, 70-3 + 23-5	673	10	45.5%	50	35.7%	1,731.0	36.6%	A구역진입노선 수 (45.5%)과다 C구역진입대수 (30.0%)높음
				B구역	서북방향(상23동, 인천) 주요경유 노선 배치	15, 16, 27, 53, 66, 96-1, 700	-	7	31.8%	48	34.3%	1,864.0	39.4%	
				C구역	동남방향(소사구) 주 요경유 노선 배치	12-1, 25, 83, 96	1	5	22.7%	42	30.0%	1,135.0	24.0%	
					대안 17 C구역 중동 경유노선 A구역 배치	20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 3-10	A구역	동북방향(오정구) 주 요경유 노선 배치	15, 16, 23, 27, 33, 53, 66, 70, 96-1, 700	-	10	45.5%	61	43.6%	2,417.0	51.1%	A구역진입노선수(4 5.5%),총정체시간(5 1.1%)과다 C구역진입대수 (32.9%)높음
				B구역	서북방향(중동, 상동) 주요경유 노선 배치	7-1, 7-4, 8, 50-1, 70-3	673	6	27.3%	33	23.6%	1,059.0	22.4%	
				C구역	동남방향(소사구) 주요 경유 노선 배치	12-1, 23-5, 25, 83, 96	1	6	27.3%	46	32.9%	1,254.0	26.5%	
					주요경유지 방향별 배치(송내역 기준)	20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	
			대안 3-11 (대안 3-10 보완)	A구역	동북방향(오정구) 주요 경유 노선 배치 + 오 정구 경유노선 배치	15, 16, 23, 27, 33, 53, 66, 70, 96-1, 700 +23-5	-	11	50.0%	65	46.4%	2,536.0	53.6%	A구역진입노선수(5 0.0%),진입대수(4 6.4%), 총정체시간(53.6%) 과다 C구역진입대수(30 .0%)높음
				B구역	서북방향(중동, 상동) 주요경유 노선 배치	7-1, 7-4, 8, 50-1, 70-3	673	6	27.3%	33	23.6%	1,059.0	22.4%	
				C구역	동남방향(소사구) 주 요경유 노선 배치	12-1, 25, 83, 96	1	5	22.7%	42	30.0%	1,135.0	24.0%	
					대안 19 C구역 오정구 경유노선 A구역 배치	20개 노선	2개 노선	22	100.0%	140	100.0%	4,730.0	100.0%	

노선별 운행경로 특성에 따른 총 20개 대안 중 이용자 측면에서 노선의 방향성이 유사하며, 노선수, 진입대수, 정체시간이 비교적 균등한 대안 1-2, 대안 2-6, 대안 3-8에 대하여 시나리오1, 시나리오2, 시나리오3 으로 구분하여 시나리오별 진입 노선수, 진입대수, 총 정차시간을 검토한 결과 <표 4-5>와 같다.

〈표 4-5〉 대안별 진입 노선수, 총 정차시간

구 분	시나리오1 - 진출부 진행방향 기준			시나리오2 - 최종목적지(종점) 기준			시나리오3 - 주요경유지 기준		
	<ul style="list-style-type: none"> • A구역 : 송내대로 방향 • B구역 : 중동역+ 공항방향 • C구역 : 부개역 방향 			<ul style="list-style-type: none"> • A구역 : 부천시내 방향 • B구역 : 서울 방향 • C구역 : 인천, 경기 방향 			<ul style="list-style-type: none"> • A구역 : 시청, 서울 방향 • B구역 : 소풍, 인천 방향 • C구역 : 부천대, 시흥 방향 		
진입노선	A구역	B구역	C구역	A구역	B구역	C구역	A구역	B구역	C구역
	10	8	4	9	8	5	9	7	6
진입대수	73	47	20	55	51	34	46	48	46
총정차시간	1950.0	1835.0	945.0	1,654.0	1,515.0	1,561.0	1,612.0	1,864.0	1,254.0
용량	136.5	106.0	92.2	126.6	127.6	94.2	114.3	106.4	134.8
V/C	0.53	0.44	0.22	0.43	0.40	0.36	0.40	0.45	0.34

제3절 평가

“대중교통 연계수송형 환승센터내 환승시설 등 배치기준”에 따라 휴리스틱하게 검토된 시나리오 1, 2, 3을 평가하기 위해 미시적 프로그램인 VISSIM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 선정된 시나리오 1, 2, 3에 대하여 시뮬레이션 모형을 구축하기 위한 노선별 입력 정차시간 값은 2016년 6월 28일 오후 침두시 18:00~19:00를 대상으로 〈표 4-6〉과 같다.

〈표 4-6〉 노선별 입력 정차시간 값

노선	진행 방향	정차시간 (초)	노선	진행 방향	정차시간 (초)	노선	진행 방향	정차시간 (초)
7-1	부천테크노파크	48	25	범박동	12	83	여의도	29
7-4	김포공항	27	27	부천터미널	44	96	범박휴먼시아	40
8	고강동	20	33	화곡역	38	96-1	서해그랑빌	55
12-1	대장동	28	50-1	방화중학교	21	700	여의도	9
15	한라마을	66	53	소사고등학교	26	1	안산	11
16	삼산시장	40	66	부천북부역	31	673	서울방면	25
23	화곡역	57	70	당산역	25			
23-5	소사차고지	30	70-3	영등포	36			
16	삼산시장	37.0	53	아인스월드	20.1			

송내 환승시설의 경우 정차면별로 검지기가 설치되어 있어 검지기 데이터를 이용하였다. 구역별 노선배분 현황은 〈표 4-7〉과 같다.

〈표 4-7〉 시나리오별, 구역별 노선배분 현황

구분		구역별 노선배분		
		A 구역	B 구역	C 구역
시나리오 1	노선	8,12-1,25,53,70-3,83,96,7-4,50-1,1	7-1,16,23,27,33,70,700,673	15,23-5,66,96-1
	노선수	10	8	4
시나리오 2	노선	7-4,23,33,50-1,70,70-3,83,700,673	12-1,16,23-5,25,53,96,96-1,1	7-1,8,15,27,66
	노선수	9	8	5
시나리오 3	노선	7-1, 23, 33, 7-4, 8, 70, 70-3, 50-1,673	15, 16, 27, 66, 96-1,700, 53	23-5, 25, 96, 12-1, 83, 1
	노선수	9	7	6

1. 평가지표

김응철과 최대현(2010)는 서울시의 중앙버스전용차로 정류장의 버스 도착특성에 따른 정류장의 적정 정차면수 산정에 관한 방안 제시하였다. VISSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 중앙버스전용차로의 적정 정차면수 평가지표로 대기차량발생비율을 고려하여 정책결정시 대기 차량 비율을 어느 정도까지 허용할 것인지에 따라 적정 정차면수를 제시하였는데 이를 적용하였다.

휴리스틱 접근방법에 따라 노선배분 계획을 함에 있어 평가지표(MOE : Measurement of Effectiveness)인 총 대기비율은 T 시간동안 전체 정류장에 진입하는 전체대수 중 정차면이 선 도착 버스들로 점유되어 도착하는 버스들이 정차면에 진입할 수 없어서 정류장의 끝부분에 대기하는 총 버스 대수의 비율(W_{nr})을 의미한다. 이때 T시간 동안 정체 정류장에 진입하는 전체대수에는 대기하는 총 버스대수도 포함하는데 식(4-1)과 같다.

$$W_{nr} = \sum_{s=1}^n \left\{ \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{W_{(t,sn)}}{N_{(t,s)}} \right\} \right\} \quad \text{식 (4-1)}$$

여기서, W_{nr} : 전체 정류장 총 대기비율(%)

s : 정류장수

$N_{(t,s)}$: 시점 t 에서의 정류장 s 의 진입대수, $N_{(t,s)} \geq W_{(t,sn)}$

$W_{(t,sn)}$: 시점 t 에서의 정류장 s 의 대기대수

2. 평가

휴리스틱 접근방법에 의해 시나리오별 시뮬레이션 결과 <표 4-8>과 같다. KHCM(2013)에 따라 용량 산정시 V/C를 검토하기 위해서는 인가 노선대수보다는 실제 진입대수 데이터가 필요하다. <표 4-8>를 볼 때 정차시간이나 진입대수에 따라 대기비율이 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 시나리오 2, 3을 볼 때 용량이 크고 V/C가 낮아도 대기비율이 높게 나타남에 따라 진입대수, 정차시간, 용량, V/C로 평가하는데 다소 무리가 있다고 판단한다.

본 연구에서는 대기비율을 평가지표로 하여 평가한 결과 진출부 방향 기준의 시나리오 1, 목적지 기준의 시나리오 2, 주요경유지 기준의 시나리오 3 중 시나리오 1의 B구역이 대기비율(W_{nr})이 8.6%로 가장 높으며 시나리오 3의 C구역이 4.3%로 가장 작은 것으로 분석되었다. 휴리스틱 접근방법에 의해 시나리오 3의 경우 A구역 8.7%, B구역 8.3%, C구역 4.3%로 구역별 대기비율이 시나리오 1, 2 보다는 균등하게 발생하는 것으로 분석 되었다.

<표 4-8> 시뮬레이션 결과

구분		정차시간	용량	V/C	진입대수	대기대수	대기비율
시나리오1	A 구역	26.7	136.5	0.53	73	7	9.6%
	B 구역	39.0	106.0	0.44	47	5	10.6%
	C 구역	47.3	92.2	0.22	20	0	0.0%
	계		334.7	0.42	140	12	8.6%

시나리오2	A 구역	30.1	126.6	0.43	55	5	9.1%
	B 구역	29.7	127.6	0.40	51	5	9.8%
	C 구역	45.9	94.2	0.36	34	1	2.9%
	계		348.4	0.40	140	11	7.9%
시나리오3	A 구역	35.04	114.26	0.40	46	4	8.7%
	B 구역	38.83	106.36	0.45	48	4	8.3%
	C 구역	27.26	134.81	0.34	46	2	4.3%
	계		355.42	0.39	140	10	7.1%

주: 용량 산정시 KHCM(2013) 가감속시간(16.5), 대기계수(0.81), 정차면(2) 적용

주: 결과치는 오후 첨두시 18:00~19:00 기준임

KHCM(2013)의 도시지역 정류장 설계시 대기비율(W_{nr}) 권장치(10%)를 기준을 적용하여 평가한 결과 <표 4-9>와 같다. 시나리오 1의 B구역이 10.6%로 이를 제외한 시나리오 2, 3의 모든 구역은 대기비율이 0.0%~9.8%로 설계기준 권장치이내에 해당되어 적절한 노선배분 계획인 것으로 평가할 수 있다. 본 연구에서 휴리스틱 접근법에 의해 전체 정류장에 총 대기비율이 가장 최소로 발생하는 대안은 시나리오 3으로 검토 되었다.

제5장에서 제시될 모형에 따른 노선배분 해와 제6장에서 평가시 시나리오 3을 대상으로 하였다.

<표 4-9> KHCM 대기비율 권장치에 따른 평가

평가기준	• KHCM(2013, 국토교통부) 도시지역 정류장 설계시 대기비율 권장치 : 10%
휴리스틱 배분결과	• 구역별 · 방향별 최대 대기비율 : 0.0%~10.6%
평 가	• 설계기준 권장치이내 : 10%(권장치) > 0.0%~9.8%(시나리오 1 B구역 제외)

제5장 최적 노선배분 모형 연구

제1절 모형 구축 조건

1. 문제 정의

현장조사를 통해 데이터를 확보하기 위해 소요되는 시간, 비용, 인력, 데이터의 신뢰성에 대한 문제와 데이터 분석 및 처리에 있어 상당시간이 소요되어 데이터 분석을 기피하였던 과거와는 달리 정보통신 기술발달과 함께 수년간 발전해온 ITS 기술로 BIS 및 검지기로부터 수집한 데이터를 이용한다. 데이터 처리에 있어서도 날로 폭증하는 빅데이터 시대에 IT환경은 고품질의 데이터 처리 속도를 위해 컴퓨터 기술혁신으로 직렬 데이터 처리에 한계를 극복하기 위해 병렬처리 방식에 분산 컴퓨팅(Distributed computing) 기술이 도입 되었다. 이러한 IT기술의 발달로 교통 분야에서도 빠른 의사결정을 지원 받을 수 있게 되었다.

교통시설에 있어 너무 과다한 시설 결정은 지양하고 운영 효율성을 최적화 하는 것이 가장 이상적인 교통시설체계 구축·운영이라 판단 한다. 송내 환승시설의 물리적으로 제약되어 있는 버스정류장 용량내 22개 시내버스 노선을 대상으로 각 구역별 정류장에 최적화 하여 노선을 배분하기 위한 모형을 연구하였다.

송내 환승시설 침두시인 오전 침두시(07:00~09:00), 오후 침두시(18:00~20:00)동안 노선별 정류장 도착횟수 현황은 <표 5-1>과 같다. 노선별 도착횟수와 BIS 정류장 진출·입 이벤트 자료를 기준으로 노선별 평균 점유시간은 17.5초~78.8초 범위로 불규칙하다. 오후 도착횟수는 교통 소통상황을 반영하여 오전보다 낮고 정차면 점유시간은 오후 침두시 승·하차인원이 더 증가하여 오전보다 더 큰 것으로 나타났다.

〈표 5-1〉 노선별 진입대수, 평균 점유시간

노선	도착횟수(회)		평균 점유시간	
	오전	오후	오전	오후
70-3	13	11	41.6	42.9
7-1	19	17	78.8	62.4
70	13	9	33.4	35.8
673	8	7	29.1	32.3
8	7	9	29.3	32.0
7-4	6	5	41.2	40.8
23	11	15	51.8	57.3
50-1	16	16	44.4	41.1
33	4	4	39.3	43.5
16	18	18	56.3	72.8
27	17	15	61.7	73.8
96-1	6	3	67.0	39.0
66	13	12	38.3	53.5
15	15	17	44.9	77.3
53	25	20	35.9	36.3
700	9	9	23.2	36.9
83	36	32	43.5	45.8
12-1	35	32	39.1	39.8
96	7	6	38.0	67.7
25	9	8	29.6	33.1
23-5	6	8	49.8	56.9
1	2	2	23.5	17.5
계	297	275	42.71	47.2

주: 2016년 5월 17일 BIS 정류장 진출입 이벤트 자료 기준임

22개 노선을 대상으로 송내 환승시설 다중 버스정류장에 노선배분을 최적화하는 문제에 대하여 의사결정변수를 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간으로 정의하였다. 정수계획법을 이용하여 노선배분시 최적해를 구하기 위한 제약조건을 유사경로 노선을 동일구역에 배분하여 이용자 편의를 고려하는 경우와 시스템 운영 측면을 최적화하기 위해 이용자 편의를 고려하지 않는 경우를 대상으로 다중 버스정류장의 총 대기시간을 최소화(Minimize)하는 노선배분 해를 제시하였다.

〈표 5-2〉와 같이 모형에 이용하는 입력값은 이미 제4장에서의 휴리스틱 접근방법에 따라 배분된 상태에서 수집된 자료이다. 개별 버스 단위의 실시간 운행패턴을 미시적 수준에서 반영하고자 개별버스의 도착시간은

BIS 정류장 도착 이벤트 정보, 정차면내 정차시간은 검지기 정차면 진출·입 이벤트 정보를 이용하였다. 입력자료 조건을 정리하면 다음과 같다.

〈표 5-2〉 송내 환승시설 정류장별 노선배분 현황

구분	노선 배치		
	A 정류장(ID:11555)	B 정류장(ID:11556)	C 정류장(ID:11557)
정류장별 정차노선	7-1, 23, 33, 7-4, 8, 70, 70-3, 50-1, 673	15, 16, 27, 66, 96-1, 700, 53	23-5, 25, 96, 12-1, 83, 1
합 계(22개 노선)	9개 노선	7개 노선	6개 노선

① 최적화 모형 알고리즘 입력자료

- 2016. 5. 17. 오전 첨두시 07:00~09:00, 오후 첨두시 18:00~20:00
- 항목 : 노선번호
 - : 버스 도착시간(BIS 정류장 진입 이벤트 정보)
 - : 버스 정류장 점유시간(검지기 정차면 진출입 이벤트 정보와 BIS 정류장 진출 이벤트 정보)

2. 모형 수립 전제조건

송내 환승시설 오전, 오후 첨두시 개별 버스의 미시적 데이터 분석을 통해 선정한 정차시간과 차두시간의 분포모형은 k값이 각각 3과 1인 열랑분포 모형을 따른다. 22개 노선을 3개 버스정류장에 배분함에 있어 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 최적의 해를 구하기 위해 다음과 같은 조건을 고려할 수 있도록 알고리즘을 구현(Programming)하였다.

- 이용자 노선 이용 편의 고려 : 제약조건에 이용자의 정류장 이용 편의를 고려하여 유사 경로 노선은 동일 구역에 배분하도록 조건을 부여한 상태에서 가능한 모든 경우의 수를 계산하여 최적의 해 도출
- 이용자 노선 이용 편의 미고려 : 제약조건에 이용자의 정류장 이용

편의보다는 시스템 운영을 최적화하기 위해 시스템 측면에서 모든 경우의 수를 계산하여 최적의 해 도출

버스 이용자가 유사 경로 노선을 동일 구역에서 이용할 수 있도록 이용자 편의를 고려하기 위해 송내 환승시설 이용 22개 노선 중 11개 노선의 유사 경로 노선을 선정하여 동일구역에 배분 하도록 하였다. 유사경로 노선 선정기준은 각 노선별 부천시내 경유지 중 3개 정류장이상 중첩되는 노선을 기준으로 하였다. <표 5-3>과 같이 23번과 33번, 70-3번과 673번, 15번과 66번, 12-1번과 25번, 83번과 96번과 1번이 같은 구역에 배분되도록 조건을 부여하였다.

<표 5-3> 22개 노선 중 유사 경로 노선 현황

구분	노선명	진행방향	노선별 주요 경유지
유사 노선1	23	화곡역	부천시청,춘의역,부천종합운동장,오정경찰서,원종사거리
	33	화곡역	부천시청,춘의역,부천종합운동장,고강사거리
유사 노선2	70-3	영등포	영안아파트,신중동역,약대오거리,내촌사거리,OBS
	673	이대부고	문예사거리,신중동역,약대오거리,내촌사거리,OBS
유사 노선3	15	한라마을	상동고등학교,부천정보고,상동역,석천초교사거리
	66	부천북부역	상동고등학교,부천정보고,상동역,부천시청역,부천소방서
유사 노선4	12-1	소사동	중동사거리,송내사거리,부천남부역,소사삼거리,소사초교앞사거리,동남삼거리
	25	범박동	중동사거리,송내사거리,성주초등학교,부천남부역,소사삼거리,소사초교앞사거리,역곡남부역
유사 노선5	83	여의도	전화국사거리,심곡고가사거리,부천남부역,소사구청삼거리,역곡남부역,동신아파트
	96	범박휴먼시아	전화국사거리,심곡고가사거리,부천남부역,소사구청삼거리,조공아파트
	1	안산	전화국사거리, 심곡고가사거리, 부천남부역, 소사삼거리, 소사초교앞사거리

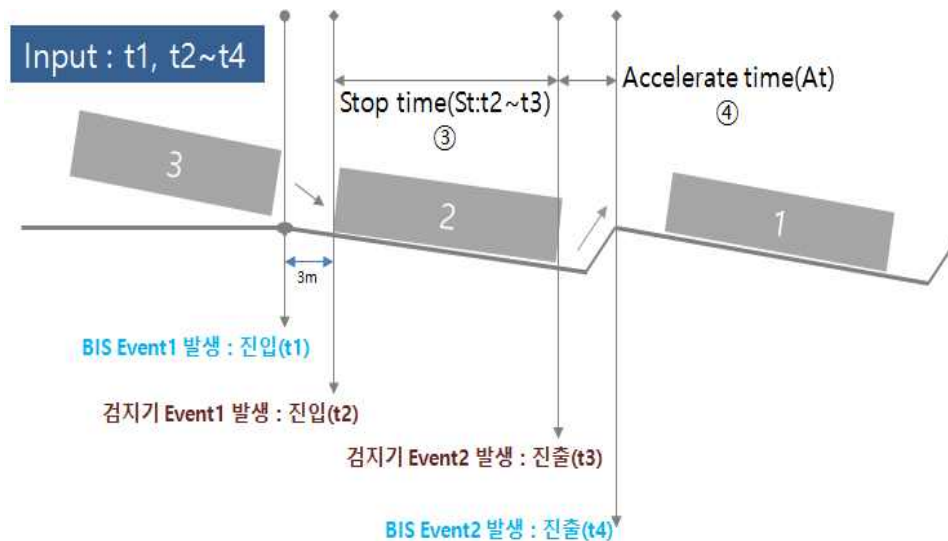
1) 입력자료(*.csv file) : n , t_1 , O_t

- n : 노선번호
- t_1 : BIS 정류장 진입 이벤트 발생시간으로 버스의 정류장 도착시간
- O_t : <그림 5-1>에서와 같이 버스의 정류장 점유시간으로 정차면에 정차했다가($St : t_2 \sim t_3$) 정차면을 출발해서 정류장을 이탈하기까지의

가속시간($A_t : t_3 \sim t_4$)을 포함하며 점유시간은 연속적이나 자료의 수집단위를 고려하여 1초 단위의 이산적인 값임

$$O_t = St + At$$

단, 점유시간 산정시 앞차량이 정차면에 정차중이어 빈 정차면이 없을 경우 대기시간(W_t)이 추가로 필요하나 대기시간 반영시 정류장별 배분시 불필요한 대기시간이 반영되어 대기시간이 중복 가산되는 점을 고려하여 대기시간은 제외시켰다. $t_1 \sim t_2$ 까지의 감속구간 거리가 3m이며 HCM(2013)에서 정류장 점유시간에서 감속시간은 정차면으로 진입은 앞 버스의 소거시간중에 이루어질 수 있으므로 빈 정차면에 진입하는데 소요 되는데 매우 작거나 사실상 0에 가까운 것으로 설명하고 있어, 버스별 현실적인 점유시간을 반영하고자 감속시간($Dt=t_1 \sim t_2$)은 점유시간에서 제외 하였다.



〈그림 5-1〉 입력자료 구성

2) 전제조건

- 대기시간 발생 조건은 버스 진입 시점(t 초)에 정차면이 모두 선

도착 버스가 정차하고 있는 경우 발생하는 시간임

- 각 개별 버스는 반드시 정해진 점유시간(정차시간+가속시간)을 사용
- 노선 배분 대상 3개 구역의 정류장간 통행거리는 반영하지 않음
- 모형 수립에 사용되는 입력자료는 BIS 및 검지기로부터 수집되는 자료로 이미 휴리스틱 접근방법에 의해 배분된 상태에서 수집되는 자료
- 분석시작 노선은 A구역에 배분하여 분석이 시작됨
- 분석시간은 환승시설의 침두시간인 오전 침두시(07:00~09:00), 오후 침두시(18:00~20:00) 각 2시간(7200초)
- 모든 노선은 A, B, C 구역중 하나의 구역에만 정차함

3) 변수정의

모형에 포함되는 정수 및 변수의 정의는 다음과 같으며 자료수집 단위가 1초 단위로 수집된다. 각 정류장에 대하여 t시점에서의 정류장 대기시간은 t시점에서의 도착(정차)대수에 각 정류장의 정차면수를 뺀 값이다.

- n : 1,2,3,...22, 노선수
- s : A, B, C, 정류장(A=1, B=2, C=3)
- sn : 정류장의 정차면수
- $seed$: 0~ 3^{22} 개의 가능한 조합의 수
- R_{seed} : s 개 정류장과 n 개 노선의 가능한 모든 노선배분 Matrix ($0 \sim 3^{22}$)
- $g_{seed}(s,t)$: 각 $seed$ 별 정류장 s 의 시점 t (1초 단위로 자료수집 됨)에서의 도착(정차)대수(0 또는 1)
- $fg_{seed}(s,t)$: 각 $seed$ 의 정류장 s 의 시점 t 의 대기시간(0 또는 1)
- $f_{seed}(s)$: 각 $seed$ 의 정류장 s 의 총 대기시간
- Z_{seed} : 각 $seed$ 에 대한 s 개 정류장의 총 대기시간
- $G(n,s)$: 노선 n 의 정류장 s 에 대한 정차 계획(0 또는 1)

제2절 모형 구성 요소

2면의 정차면을 가진 정류장이 톱니형으로 연속해서 3개(A,B,C) 구역으로 구성되어 있고 22개의 노선이 환승시설에 진입시 개별 차량은 정류장 진출·입 BIS 이벤트 정보와 정차면 진출·입 검지기 이벤트 정보를 가지게 된다. 분석시간 T초 동안 환승시설 모든 정류장에서 발생하는 총 대기시간을 최소화하는 노선배분 문제를 목적함수로 하여 Z_{seed} 가 Minimize되는 조건을 만족하는 노선배분 Matrix 값 R_{seed} 를 구하고자 한다.

$$R_{seed}[Min Z_{seed}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ \vdots \\ 22 \end{matrix} & \begin{pmatrix} G_{1A} & G_{1B} & G_{1C} \\ G_{2A} & G_{2B} & G_{2C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{21A} & G_{21B} & G_{21C} \\ G_{22A} & G_{22B} & G_{22C} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

정류장 s 의 정차면이 sn 개일 때, 각 정류장에서 t (1초 단위로 자료 수집)시점의 정차대수는 지체시간으로 정의될 수 있음에 따라 정류장을 대상으로 분석기간 T동안의 누적 정차대수는 총 지체시간이며 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$Z_{seed} = \sum_{s=1}^3 f_{seed}(s)$$

$$f_{seed}(s) = \sum_{t=0}^T fg_{seed}(s,t)$$

$$fg_{seed}(s,t) = \max[g_{seed}(s,t) - sn, 0]$$

여기서 $Min Z_{seed}$ 를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$Min[Z_{seed}]$$

$$\text{s.t. } Z_{seed} = \sum_{s=1}^3 f_{seed}(s)$$

$$f_{seed}(s) = \sum_{t=0}^T fg_{seed}(s,t)$$

$$fg_{seed}(s,t) = \max[g_{seed}(s,t) - sn, 0]$$

$$g_{seed}(s,t) = \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & T \\ A(g_{seed}(A,1) & g_{seed}(A,2) & , \dots , & g_{seed}(A,T)) \\ B(g_{seed}(B,1) & g_{seed}(B,2) & , \dots , & g_{seed}(B,T)) \\ C(g_{seed}(C,1) & g_{seed}(C,2) & , \dots , & g_{seed}(C,T)) \end{matrix}$$

$$seed = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3^n, (n = 1, 2, 3, 4, \dots, 22)$$

$$g_{seed}(s,t), fg_{seed}(s,t) = 0 \text{ or } 1 \quad \forall s, t$$

$$s = A, B, C, (A = 1, B = 2, C = 3), s > 0$$

제3절 알고리즘 개발

제4장에서 검토한 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 계획은 기본적인 전제가 가장 이상적인 대안을 찾는 것이 아니다. 실무행정에서 포괄적인 의사결정방안을 찾는 것으로 빠른 시간안에 실무수준에서 만족할만한 해답을 도출해 낸다는 장점은 있지만, 때로는 휴리스틱 조건이 틀릴 수 있고 담당자의 주관적인 의견이 반영되어 편향으로 인한 오류가 따를 수 있다.

의사결정자의 판단에 필요한 정보를 주관적인 경험치와 기준에 맞추려 할 때 가져오는 문제점을 보완하기 위해 본 장에서는 전체 정류장에 총 대기시간이 최소화 되는 노선배분 해를 찾는 문제에 대하여 알고리즘

로직은 <그림 5-2>와 같다. 최적화 과정을 수행하기 위하여 $0 \sim s^n$ 개 만큼의 경우의 수를 Z_{seed} 를 계산하는 과정을 거쳤다. 알고리즘 개발은 MS VC 9.0 Visual studio 2008 개발환경에서 C언어를 이용하여 프로그래밍 (Programming)하였다.

[step 1] read file(*.csv file)

- n, t_1, O_t



[step 2] n route 값 도출(from *.csv file)

- 총 노선수(n) 산출

[step 3] 분석할 정류장수와 베이수 입력

- input variable : s (station number), sn (bay number)

[step 4] 노선 경로가 유사한 경쟁노선은 동일 구역에 배분 조건 부여

[step 5] 조합가능한 경우의 수만큼 노선배분 matrix R_{seed} , g_{seed} table 생성 및 Z_{seed} 계산

for $seed = 0 \sim s^n$: 조합 가능한 수

[step 5-1] matrix R_{seed} 생성($seed = 0, 1, 2, \dots, 3^{22}$)

- $s \times n$ 크기의 $seed$ 개의 Matrix 생성

[step 5-2] g_{seed} table 생성

- event data(노선, 진입시간, 점유시간)를 matrix R_{seed} 에 입력

- g_{seed} number = s^n

[step 5-3] g_{seed} summary : Z_{seed} Calibration

- summary formula :

$$Z_{seed} = \sum_{s=1}^3 f_{seed}(s) : \text{각 } seed \text{에 대한 } s \text{개 정류장의 총 대기시간}$$

$$f_{seed}(s) = \sum_{t=0}^T fg_{seed}(s,t) : \text{각 } seed \text{의 정류장 } s \text{의 총 대기시간}$$

$$fg_{seed}(s,t) = \text{if}(g_{seed}(s,t) > sn)$$

$$fg_{seed}(s,t) = g_{seed}(s,t) - sn$$

$$\text{else } fg_{seed}(s,t) = 0$$



[step 6] minimum of Z_{seed} :

- min[Z_{seed}]

- save, print ranking 5 R_{seed} [minimum of Z_{seed}]

〈그림 5-2〉 알고리즘 로직

알고리즘의 구성과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

[step 1] : 오전 침두시(07:00~09:00), 오후 침두시(18:00~20:00)에 대해
BIS 정류장 이벤트 정보 및 검지기 정차면 이벤트 정보를
통해 정류장 진입시간 및 정류장에서의 점유시간을 산출후
. CSV를 생성후 read file(.csv file)

(1.1) 정류장 진입시간(in(idx)) 초기화

- BIS_IN=IN(T)를 0초부터 7200초까지 시간(초) 단위로 정산한후
최종 입력값(in(idx))은 정수로 초기화

(1.2) 정류장 점유시간(out(idx)) 산출후 초기화

- 점유시간(TOT DUR) : 정차시간(ID_DUR)+가속시간(ACCEL)

· 정차시간(ID_DUR) : 검지기 정차면 진입시간(LOOP IN)에서부터

검지기 정차면 진출시간(LOOP OUT)

· 가속시간(ACCEL) : 검지기 정차면 진출시간(LOOP OUT)에서부터
버스 가 정류장에서 진출하는 시간까지
(BIS_OUT)

- 점유시간(TOT DUR) 0초부터 시간단위로 초기화한후 최종 입력값
(out(idx))은 정수로 초기화

(1.3) <그림 5-3>과 같이 route, in(idx), out(idx)로 구성된 table을
*.csv 파일로 저장하여 입력 자료 생성 및 읽기

ROUTE	LOOP_IN	LOOP_OUT	BIS_IN	BIS_OUT	IO_DUR	ACCEL	TOT_DUR	IN(T)	OUT(T)	in(dT)	out(dT)	ROUTE	IN(idx)	OUT(idx)
83	7:00:33	7:00:47	7:00:34	7:00:55	0:00:14	0:00:08	0:00:22	7:00:34	7:00:56	0:00:00	0:00:22	83	0	22
70-3	7:01:58	7:02:22	7:01:51	7:02:25	0:00:24	0:00:03	0:00:27	7:01:51	7:02:18	0:01:17	0:01:44	70-3	77	104
7-1	7:03:07	7:03:42	7:02:56	7:03:40	0:00:35	0:00:02	0:00:37	7:02:56	7:03:33	0:02:22	0:02:59	7-1	142	179
12-1	7:03:05	7:03:48	7:03:02	7:03:54	0:00:43	0:00:06	0:00:49	7:03:02	7:03:51	0:02:28	0:03:17	12-1	148	197
16	7:03:10	7:03:39	7:03:05	7:03:41	0:00:29	0:00:02	0:00:31	7:03:05	7:03:36	0:02:31	0:03:02	16	151	182
27	7:03:19	7:03:56	7:03:16	7:04:01	0:00:37	0:00:05	0:00:42	7:03:16	7:03:58	0:02:42	0:03:24	27	162	204
70	7:04:11	7:04:19	7:04:06	7:04:20	0:00:08	0:00:01	0:00:09	7:04:06	7:04:15	0:03:32	0:03:41	70	212	221
}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}
25	8:57:22	8:57:35	8:57:22	8:57:43	0:00:13	0:00:08	0:00:21	8:57:22	8:57:43	1:56:48	1:57:09	25	7008	7029
23	8:57:28	8:58:10	8:57:24	8:58:17	0:00:42	0:00:07	0:00:49	8:57:24	8:58:13	1:56:50	1:57:39	23	7010	7059
27	8:57:29	8:57:53	8:57:26	8:57:51	0:00:24	0:00:02	0:00:26	8:57:26	8:57:52	1:56:52	1:57:18	27	7012	7038
83	8:58:27	8:58:47	8:58:24	8:58:58	0:00:20	0:00:11	0:00:31	8:58:24	8:58:55	1:57:50	1:58:21	83	7070	7101
12-1	8:59:37	8:59:48	8:59:35	8:59:53	0:00:11	0:00:05	0:00:16	8:59:35	8:59:51	1:59:01	1:59:17	12-1	7141	7157
53	8:59:48	8:59:55	8:59:41	8:59:55	0:00:07	0:00:00	0:00:07	8:59:41	8:59:48	1:59:07	1:59:14	53	7147	7154
7-1	8:59:54	9:00:25	8:59:49	9:00:28	0:00:31	0:00:03	0:00:34	8:59:49	9:00:23	1:59:15	1:59:49	7-1	7155	7189
* ROUTE : 노선번호 * LOOP_IN : 검지기 정차면 진입시간 * LOOP_OUT : 검지기 정차면 진출시간 * BIS_IN : BIS 정류장 진입이벤트 발생시간 * BIS_OUT : BIS 정류장 진출이벤트 발생시간 * IO_DUR : 정차시간(loop in~loop out)					* ACCEL: 소거시간/가속시간 : LOOP_OUT~BUS_OUT * TOT_DUR : IO_DUR+ACCEL * IN(T) : 버스 도착시간, BIS_IN * OUT(T) : 노선별 실제 도착에서부터 진출하는데 소요 된 시간(IN(T)~TOT_DUR) * in(dT) : IN(T)을 0초부터 초기화한 값					* out(dT) : OUT(T)을 0초부터 초기화한 값 * in(idx) : 최종 모형 입력 값, 진입시간 * out(idx) : 최종 모형 입력 값, 노선별 정차시간 및 가속시간이 반영된 점유시간				

<그림 5-3> 노선별 BIS 정류장 이벤트 입력 데이터 구축

[step 2] : 총 노선수 n 산출

(2.1) 입력 *.csv file을 읽어 드려 route field를 검색하여 총 노선수 산출

- 총 노선수(n) 산출, $n=22$

[step 3] : 정류장 및 베이 초기화 <그림 5-4>

(3.1) 분석 대상 정류장수와 베이수 결정

(3.2) input variable : s (station), sn (bay) 입력

- (3.3) 빠른 의사결정을 위해 분산 컴퓨팅 기술 적용하여 알고리즘 실행
 - 분석할 PC 대수 결정 및 CPU 할당 환경조건 정의

The image shows a software window titled "BusStopAnalysisGUI". It contains several input sections:

- 입력 파일:** A text box containing "bus_sim_input_오전.csv" with buttons for "...", "Edit", and "Seed".
- 다중 PC 모드:** A section with a "사용" button, a "종PC수" field set to "5", and an "이 PC의 번호" field set to "1".
- 단일 PC 모드:** A section with a "사용" button, a "시작 분배값" field set to "0", and a "처리 량" field set to "2092070640".
- 분석:** A section with a "정류장 수" field set to "3", a "Bay수" field set to "2", a checked "CPU를 여러동게" checkbox, and "Stop" and "X" buttons.
- Estimation:** A section with a timer showing "0:00:07".

〈그림 5-4〉 정류장 및 베이수 입력화면

- [step 4] : 이용자의 버스 노선 이용 편의를 고려하기 위해 노선 경로가 유사한 경쟁노선은 같은 구역에 배분 조건 부여(필요시 적용)
- (4.1) [step 2]에서 입력 받은 *.csv file 선택
 (4.2) *.csv file에서 노선 테이블 생성
 (4.3) 노선 테이블에서 동일구역에 배분할 노선 선택후 Merge <그림 5-5>
 - 제약 조건 없을 경우 [Step 4] 생략

The image shows two screenshots of a bus route table. The left screenshot shows a table with columns ID, 노선번호, Step, Route ID, and Duration. The right screenshot shows the same table after a merge operation, with a blue box highlighting the merged row.

ID	노선번호	Step	Route ID	Duration
0	83	0	0	22
1	70-3	77	1	27
2	7-1	142	2	37
3	12-1	148	3	49
4	16	151	4	31
5	27	162	5	42
6	70	212	6	9
7	673	234	7	11
8	8	250	8	28
9	96	273	9	18
10	96-1	286	0	45
11	66	300	2	25
12	7-4	304	3	40
13	53	348	10	27
14	23	355	11	30
15	23	357	12	39
16	700	371	1	9
17	50-1	380	13	18
18	25	424	14	12
19	33	432	15	40
20	23-5	444	14	13
21	1	487	16	10
		557	3	21
		576	17	30
		578	4	51
		582	3	31
		634	17	39
		639	6	22
		700	0	29
		705	18	24
		720	2	57
		769	0	40
		773	11	26
		780	1	25
		832	3	33
		843	14	31
		845	14	27
		867	5	127
		903	20	32
		988	3	37
		992	4	94
		997	15	33
		999	5	56

〈그림 5-5〉 동일구역 배분 노선 Merge

[step 5] 정류장별 조합 가능한 노선배분 matrix R_{seed} , g_{seed} 생성 및 Z_{seed} 계산

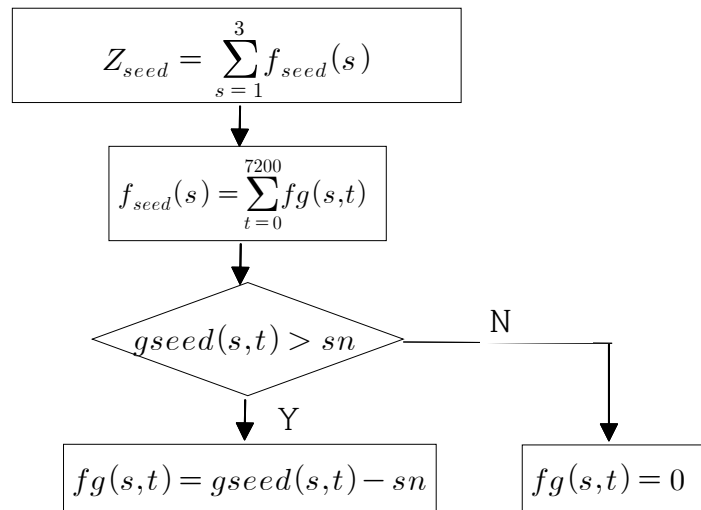
(5.1) 조합 가능한 R_{seed} 생성<그림 5-6>

- for $seed = 0 \sim s^n : s \times n$ 크기의 조합 가능한 matrix 생성

Matrix#1	A	B	C	Matrix#2	A	B	C	Matrix#31381059609	A	B	C
83	1	0	0	83	0	1	0	83	0	0	1
70-3	0	1	0	70-3	0	0	1	70-3	0	1	0
7-1	0	0	1	7-1	1	0	0	7-1	1	0	0
12-1	0	0	1	12-1	1	0	0	12-1	1	0	0
16	0	0	1	16	1	0	0		1	0	0
27	0	0	1	27	1	0	0	16	1	0	0
70	0	0	1	70	1	0	0	27	1	0	0
673	0	0	1	673	1	0	0	70	1	0	0
8	0	0	1	8	1	0	0	673	1	0	0
96	0	0	1	96	1	0	0	8	1	0	0
96-1	0	0	1	96-1	1	0	0	96	1	0	0
66	0	0	1	66	1	0	0	96-1	1	0	0
15	0	0	1	15	1	0	0	66	1	0	0
7-4	0	0	1	7-4	1	0	0	15	1	0	0
53	0	0	1	53	1	0	0	7-4	1	0	0
23	0	0	1	23	1	0	0	53	1	0	0
700	0	0	1	700	1	0	0	23	1	0	0
50-1	0	0	1	50-1	1	0	0	700	1	0	0
25	0	0	1	25	1	0	0	50-1	1	0	0
33	0	0	1	33	1	0	0	25	1	0	0
23-5	0	0	1	23-5	1	0	0	33	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0	0	23-5	1	0	0
								1	1	0	0

<그림 5-6> R_{seed} Matrix 생성(matrix 수 : s^n)

(5.2) g_{seed} Table 생성(s, t)하여 Z_{seed} 계산을 하는 과정은 <그림 5-7>과 같다.



<그림 5-7> Z_{seed} 계산 과정

- g_{seed} table number = s^n

- $Z_{seed} = \sum_{s=1}^3 f_{seed}(s)$: 각 $seed$ 에 대한 s 개 정류장의 총 대기시간

$$- f_{seed}(s) = \sum_{t=0}^T f g_{seed}(s, t) : \text{각 } seed \text{의 } T \text{시간 동안 각 정류장 } s \text{의 총 대기시간}$$

- $fg_{seed}(s,t) = \text{if}(gseed(s,t) > sn)$
: 해당 *seed*의 정류장 *s*, 시점 *t*에서의 도착대수가 정차면 (*sn*) 보다 클 경우
누적 대기대수는 대기시간임

$$fg_{seed}(s,t) = g_{seed}(s,t) - sn$$

$$else\ fg_{seed}(s,t) = 0$$

T=1~7200sec

s=3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
A	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7	7	7
1	1	1
9	9	9

(4.2.1)

$fgseed(s,t) = gseed(s,t) > 2$ then $fgseed(s,t) = gseed(s,t) - 2$ else $fgseed(s,t) = 0$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
A	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

7	7	7
1	1	1
9	9	9
7	8	9

(4.2.2)

$f(A)=2$

$f(B)=0$

$f(C)=0$

Zseed = 2sec

〈그림 5-8〉 $fg_{seed}(s, t)$, Z_{seed} 계산과정

[step 6] Minimum Z_{seed} 및 $R_{seed}[\min Z_{seed}]$ 생성

- $\min[Z_{seed}],_{seed}=0\sim 3^{22}$

$$R_{seed}[\min Z_{seed}] = \begin{matrix} & A & B & C \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ \vdots \\ 22 \end{matrix} & \begin{pmatrix} G_{1A} & G_{1B} & G_{1C} \\ G_{2A} & G_{2B} & G_{2C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{21A} & G_{21B} & G_{21C} \\ G_{22A} & G_{22B} & G_{22C} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

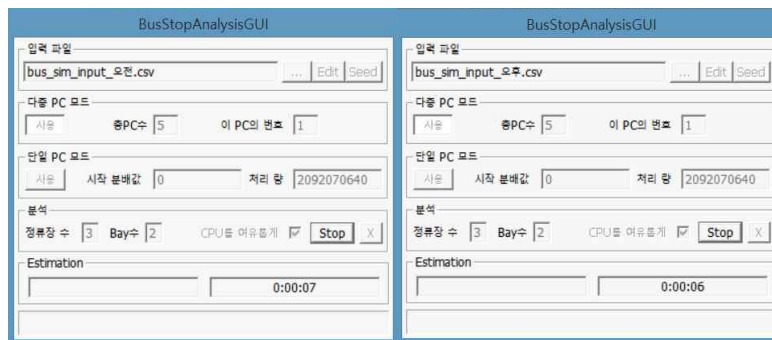
제4절 알고리즘 적용 결과

휴리스틱 접근방법에 따라 현재 송내 환승시설 A구역은 9개 노선(70-3, 7-1, 70, 673, 8, 7-4, 23, 50-1, 33), B구역은 7개 노선(16, 27, 96-1, 66, 15, 53, 700), C구역은 6개 노선(83, 12-1, 96, 25, 23-5, 1)이 운영중으로 $R_{seed(\text{휴리스틱})}$ 는 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 휴리스틱- $R_{seed(\text{휴리스틱})}$

구분	A구역	B구역	C구역
노선수	9	7	6
노선	70-3, 7-1, 70, 673, 8, 7-4, 23, 50-1, 33	16, 27, 96-1, 66, 15, 53, 700	83, 12-1, 96, 25, 23-5, 1
$R_{seed(\text{현장치})} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} 70-3 \\ 7-1 \\ 70 \\ 673 \\ 8 \\ 7-4 \\ 23 \\ 50-1 \\ 33 \\ 16 \\ 27 \\ 96-1 \\ 66 \\ 15 \\ 53 \\ 700 \\ 83 \\ 12-1 \\ 96 \\ 25 \\ 23-5 \\ 1 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$			

송내 환승시설내 3개 버스정류장에 22개 노선 배분시 전체 정류장의 총 대기시간을 최소화하는 Z_{seed} 를 구하는 모형을 반영하는 알고리즘이다. 개발한 프로그램은 Windows 환경에서 분석시간의 단축을 위해 다중 PC모드에서 분산 컴퓨팅하도록 <그림 5-9>와 같이 기능을 반영하였다. 단일 PC모드일 경우 처리수를 지정할수 있는 기능과 분석 대상 정류장 수와 베이 수를 입력할 수 있도록 구성 하였다.



<그림 5-9> 알고리즘 실행

알고리즘 실행시 노선 경로가 유사한 버스 노선들을 동일한 구역에 배치하도록 조건을 부여하여 이용자의 버스 노선 이용 편의를 고려했을 경우와 이용자 편의보다는 시스템 운영 측면을 고려하기 위해 모든 조합의 수($0 \sim s^n$)를 계산하여 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 노선 배분 해를 검토하였다. <표 5-5>, <표 5-6>은 버스 이용자의 노선이용 편의를 고려하기 위해 유사 경로 노선(83번, 96번, 1번 노선 / 70-3번, 673번 노선 / 12-1, 25번 노선/ 66번, 15번 노선/ 23번, 33번)을 동일구역에 배정하도록 조건을 부여 하였다. 이러한 조건 하에 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간이 최소가 되는 노선배분 $R_{seed(이용자 고려_오전첨두)}$ 해는 전체 정류장의 총 대기시간이 472초로 구역별로 각 그룹 노선을 다르게 배분하는 2개의 해가 산출됨에 따라 1그룹 : 70-3, 673, 12-1, 25, 8, 66, 15, 53, 700, 2그룹 : 7-1, 16, 70, 23, 33, 50-1, 3그룹 : 83, 96, 1, 27, 96-1, 7-4, 23-5이다. $R_{seed(이용자 고려_오후첨두)}$ 의 해는 전체 정류장의 총 대기시간이 859초로 구역별로 각 그룹 노선을 다르게

배분하는 2개의 해가 산출되어 1그룹 : 23-5, 23, 33, 15, 66, 70, 12-1, 25, 2그룹 : 83, 96, 1, 50-1, 27, 3그룹 : 70-3, 673, 8, 16, 7-1, 53, 700, 96-1, 7-4로 도출 되었다.

〈표 5-5〉 최적화 모형— R_{seed} (이용자고려_오전첨두)

R_{seed} (이용자고려_오전첨두)							
구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	9	6	7	노선수	6	9	7
노선	70-3,673,12-1, 25,8,66,15,53, 700	7-1,16,70,23,33, 50-1	83,96,1,27,96-1,7 -4,23-5	노선	7-1,16,70,23, 33,50-1	70-3,673,12-1, 1,25,8,66,15, 53,700	83,96,1,27,96-1,7- 4,23-5
Zv(8901969) = { [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [83+96+1] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [70-3+673] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [7-1] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [12-1+25] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [16] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [27] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [70] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [8] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [96-1] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [66+15] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [7-4] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [53] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [23+33] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [700] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [50-1] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [23-5] [2016-12-23 17:46:03] } [2016-12-23 17:46:03] Zt = 472sec				Zv(12423828) = { [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [83+96+1] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [70-3+673] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [7-1] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [12-1+25] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [16] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [27] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [70] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [8] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [96-1] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [66+15] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [7-4] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [53] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [23+33] [2016-12-23 17:46:03] [0 1 0] = [700] [2016-12-23 17:46:03] [1 0 0] = [50-1] [2016-12-23 17:46:03] [0 0 1] = [23-5] [2016-12-23 17:46:03] } [2016-12-23 17:46:03] Zt = 472sec			

〈표 5-6〉 최적화 모형— R_{seed} (이용자고려_오후첨두)

R_{seed} (이용자고려_오후첨두)							
구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	8	5	9	노선수	5	8	9
노선	23-5,23,33,15, 66,70,12-1,25	83,96,1,50-1,27	70-3,673,8,16,7-1 ,53,700,96-1,7-4	노선	83,96,1,50-1, 27	23-5,23,33,15 ,66,70,12-1, 25	70-3,673,8,16,7-1, 53,700,96-1,7-4
Zv(8351431) = { [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [83+96+1] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [23-5] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [70-3+673] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [8] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [16] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [7-1] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [23+33] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [15+66] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [53] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [50-1] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [700] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [70] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [96-1] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [12-1+25] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [27] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [7-4] [2016-12-23 15:37:38] } [2016-12-23 15:37:38] Zt = 859sec				Zv(11379695) = { [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [83+96+1] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [23-5] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [70-3+673] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [8] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [16] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [7-1] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [23+33] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [15+66] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [53] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [50-1] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [700] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [70] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [96-1] [2016-12-23 15:37:38] [0 1 0] = [12-1+25] [2016-12-23 15:37:38] [1 0 0] = [27] [2016-12-23 15:37:38] [0 0 1] = [7-4] [2016-12-23 15:37:38] } [2016-12-23 15:37:38] Zt = 859sec			

〈표 5-7〉, 〈표 5-8〉은 이용자의 이용 편의를 고려하지 않고 시스템 운영 측면을 고려하여 모든 조합의 수($0 \sim s^n$)를 계산하여 송내 환승 시설 이용 22개 노선이 각 구역별로 배분 되었을 때 대기시간이 최소화 되는 노선배분 해로 $R_{seed(이용자미고려-오전첨두)}$ 의 해는 전체 정류장의 총 대기시간이 209초로 구역별로 각 그룹 노선을 다르게 배분하는 6개의 해가 산출됨에 따라 1그룹 : 83, 70-3, 7-1, 8, 96-1, 2그룹 : 12-1, 27, 70, 673, 96, 66, 15, 33, 3그룹 : 16, 7-4, 53, 23, 700, 50-1, 25, 23-5, 1이다. $R_{seed(이용자미고려-오후첨두)}$ 의 해는 전체 정류장의 총 대기시간이 610초로 구역별로 각 그룹 노선을 다르게 배분하는 3개의 해가 산출되어 1그룹 : 8, 23, 15, 700, 70, 12-1, 96, 2그룹 : 70-3, 16, 7-1, 53, 66, 25, 673, 3그룹 : 83, 23-5, 50-1, 96-1, 27, 33, 7-4, 1로 도출 되었다.

〈표 5-7〉 최적화모형— $R_{seed(이용자미고려-오전첨두)}$

구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	5	8	9	노선수	8	5	9
노선	83, 70-3,7-1 8, 96-1	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1	노선	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33	83, 70-3,7-1 8, 96-1	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1
Zseed(1163124170) = { [2016-11-05 06:10:34] [1 0 0] = [83] [2016-11-05 06:10:34] [1 0 0] = [70-3] [2016-11-05 06:10:34] [1 0 0] = [7-1] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [12-1] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [16] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [27] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [70] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [673] [2016-11-05 06:10:34] [1 0 0] = [8] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [96] [2016-11-05 06:10:34] [1 0 0] = [96-1] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [66] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [15] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [7-4] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [53] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [23] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [700] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [50-1] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [25] [2016-11-05 06:10:34] [0 1 0] = [33] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [23-5] [2016-11-05 06:10:34] [0 0 1] = [1] Zseed = 209sec				Zseed(2326051471) = { [2016-11-05 09:09:43] [0 1 0] = [83] [2016-11-05 09:09:43] [0 1 0] = [70-3] [2016-11-05 09:09:43] [0 1 0] = [7-1] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [12-1] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [16] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [27] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [70] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [673] [2016-11-05 09:09:43] [0 1 0] = [8] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [96] [2016-11-05 09:09:43] [0 1 0] = [96-1] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [66] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [15] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [7-4] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [53] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [23] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [700] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [50-1] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [25] [2016-11-05 09:09:43] [1 0 0] = [33] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [23-5] [2016-11-05 09:09:43] [0 0 1] = [1] Zseed = 209sec			
구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	8	9	5	노선수	9	8	5
노선	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1	83, 70-3,7-1 8, 96-1	노선	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33	83, 70-3,7-1 8, 96-1

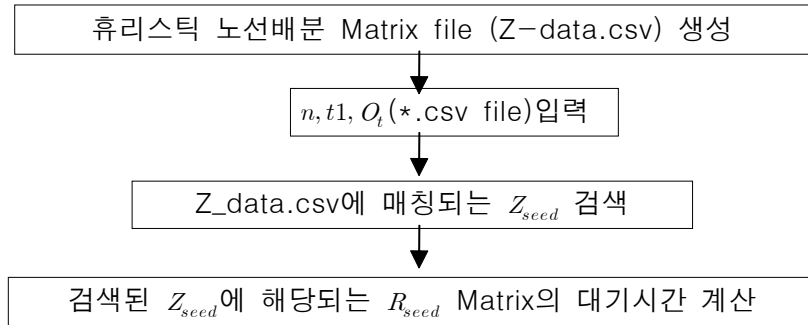
Zseed(6393103902) = { [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [83] [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [70-3] [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [7-1] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [12-1] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [16] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [27] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [70] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [673] [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [8] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [96] [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [96-1] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [66] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [15] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [7-4] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [53] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [23] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [700] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [50-1] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [25] [2016-11-05 10:06:24] [1 0 0] = [33] [2016-11-05 10:06:24] [0 1 0] = [23-5] [2016-11-05 10:06:24] [0 0 1] = [1] Zseed = 209sec				Zseed(9297229032) = { [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [83] [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [70-3] [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [7-1] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [12-1] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [16] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [27] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [70] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [673] [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [8] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [96] [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [96-1] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [66] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [15] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [7-4] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [53] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [23] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [700] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [50-1] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [25] [2016-11-05 07:12:57] [0 1 0] = [33] [2016-11-05 07:12:57] [1 0 0] = [23-5] [2016-11-05 07:12:57] [0 0 1] = [1] Zseed = 209sec			
구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	8	5	9	노선수	5	9	8
노선	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33	83, 70-3,7-1 8, 96-1	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1	노선	83, 70-3,7-1 8, 96-1	16,7-4,53,23,700 50-1,25,23-5,1	12-1,27,70,673 96, 66, 15,33
Zseed(12786404674) = { [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [83] [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [70-3] [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [7-1] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [12-1] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [16] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [27] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [70] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [673] [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [8] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [96] [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [96-1] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [66] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [15] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [7-4] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [53] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [23] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [700] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [50-1] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [25] [2016-11-05 09:48:56] [1 0 0] = [33] [2016-11-05 09:48:56] [0 0 1] = [23-5] [2016-11-05 09:48:56] [0 1 0] = [1] Zseed = 209sec				Zseed(14527602503) = { [2016-11-05 10:03:02] [1 0 0] = [83] [2016-11-05 10:03:02] [1 0 0] = [70-3] [2016-11-05 10:03:02] [1 0 0] = [7-1] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [12-1] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [16] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [27] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [70] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [673] [2016-11-05 10:03:02] [1 0 0] = [8] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [96] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [96-1] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [66] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [15] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [7-4] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [53] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [23] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [700] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [50-1] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [25] [2016-11-05 10:03:02] [0 0 1] = [33] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [23-5] [2016-11-05 10:03:02] [0 1 0] = [1] Zseed = 209sec			

〈표 5-8〉 최적화모형 R_{seed} (이용자 미고려 - 오후점두)

구분	A구역	B구역	C구역	구분	A구역	B구역	C구역
노선수	7	7	8	노선수	7	7	8
노선	8,23,15,700,70, 12-1,96	70-3,16,7-1,53, 66,25,673	83,23-5,50-1,96-1, 27,33,7-4,1	노선	70-3,16,7-1,53, 66,25,673	8,23,15,700, 70,12-1,96	83,23-5,50-1,96-1, 27,33,7-4,1
Zseed(1331154387) = { [2016-11-08 23:36:59] [0 0 1] = [83] [2016-11-08 23:36:59] [0 0 1] = [23-5] [2016-11-08 23:36:59] [0 1 0] = [70-3] [2016-11-08 23:36:59] [1 0 0] = [8] [2016-11-08 23:36:59] [0 1 0] = [16]				Zseed(2602778553) = { [2016-11-09 00:16:40] [0 0 1] = [83] [2016-11-09 00:16:40] [0 0 1] = [23-5] [2016-11-09 00:16:40] [1 0 0] = [70-3] [2016-11-09 00:16:40] [0 1 0] = [8] [2016-11-09 00:16:40] [1 0 0] = [16]			

2016-11-08 23:36:59]	[0 1 0] = [7-1]	2016-11-09 00:16:40]	[1 0 0] = [7-1]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [23]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [23]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [15]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [15]
2016-11-08 23:36:59]	[0 1 0] = [53]	2016-11-09 00:16:40]	[1 0 0] = [53]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [50-1]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [50-1]
2016-11-08 23:36:59]	[0 1 0] = [66]	2016-11-09 00:16:40]	[1 0 0] = [66]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [700]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [700]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [70]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [70]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [96-1]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [96-1]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [12-1]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [12-1]
2016-11-08 23:36:59]	[1 0 0] = [96]	2016-11-09 00:16:40]	[0 1 0] = [96]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [27]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [27]
2016-11-08 23:36:59]	[0 1 0] = [25]	2016-11-09 00:16:40]	[1 0 0] = [25]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [33]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [33]
2016-11-08 23:36:59]	[0 1 0] = [673]	2016-11-09 00:16:40]	[1 0 0] = [673]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [7-4]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [7-4]
2016-11-08 23:36:59]	[0 0 1] = [1]	2016-11-09 00:16:40]	[0 0 1] = [1]
2016-11-08 23:36:59]	}	2016-11-09 00:16:40]	}
2016-11-08 23:36:59]	Zseed = 610sec	2016-11-09 00:16:40]	Zseed = 610sec
구분	A구역	B구역	C구역
노선수	7	8	7
노선	8,23,15,700,70,128-1,96	83,23-5,50-1,96-1,27,33,7-4,1	70-3,16,7-1,53,66-25,673
Zseed(14418905638) = {			
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [83]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [23-5]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [70-3]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [8]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [16]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [7-1]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [23]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [15]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [53]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [50-1]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [66]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [700]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [70]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [96-1]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [12-1]		
2016-11-09 00:10:40]	[1 0 0] = [96]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [27]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [25]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [33]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 0 1] = [673]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [7-4]		
2016-11-09 00:10:40]	[0 1 0] = [1]		
2016-11-09 00:10:40]	}		
2016-11-09 00:10:40]	Zseed= 610sec		

이용자 고려시와 미고려시 모두 오전 침두시와 오후 침두시의 최적의 해는 동일한 그룹이 구역별로 다르게 배분되는 해가 산출되었다. 이용자 고려시 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간이 오전, 오후 침두시 각각 472초, 859초, 이용자를 미고려하여 노선을 배분하더라도 총 대기시간은 오전, 오후 침두시 각각 209초, 610초로 분석 되었다. 운영 현황에 대한 송내 환승시설의 구역별 노선배분에 따른 전체 구역의 총 대기시간 산출은 본 연구에서 개발한 프로그램상에서 <그림 5-10>과 같은 로직으로 산출 하였으며 다음과 같은 단계로 구현하였다.

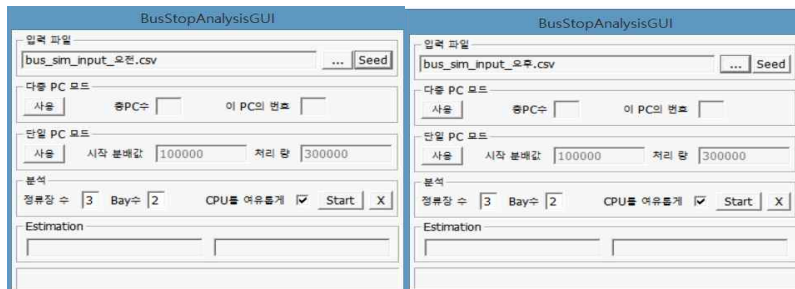


〈그림 5-10〉 운영중인 노선배분에 따른 총 대기시간 산출

[step 1] 운영중인 노선배분 현황에 대한 matrix file(Z_data.csv) 생성

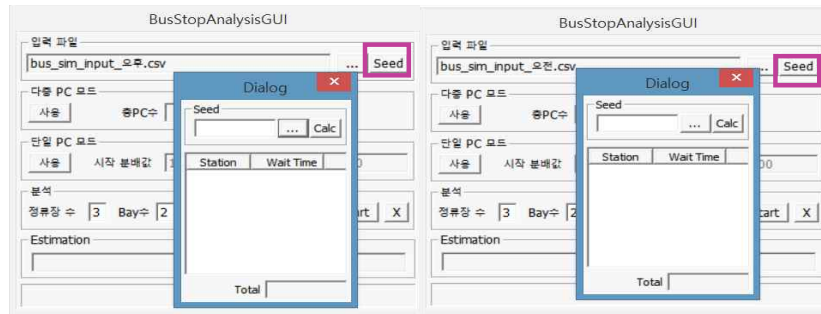
$$Z_data = \begin{matrix} & ABC \\ \begin{matrix} 70-3 \\ 7-1 \\ 70 \\ 673 \\ 8 \\ 7-4 \\ 23 \\ 50-1 \\ 33 \\ 16 \\ 27 \\ 96-1 \\ 66 \\ 15 \\ 53 \\ 700 \\ 83 \\ 12-1 \\ 96 \\ 25 \\ 23-5 \\ 1 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

[step 2] 운영중인 오전, 오후 *.csv file($n, t1, O_t$) 입력은 〈그림 5-11〉과 같다.



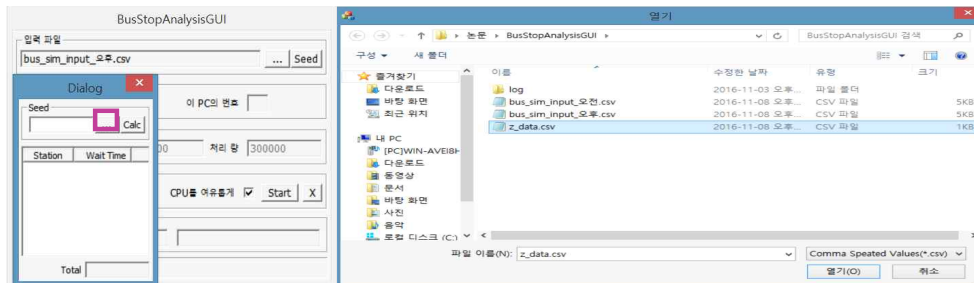
〈그림 5-11〉 *.csv file($n, t1, O_t$) 입력

[step 3] 운영중인 노선배분 R_{seed} 의 대기시간 산출을 위해 $seed$ 메뉴 선택은 <그림 5-12>와 같다.



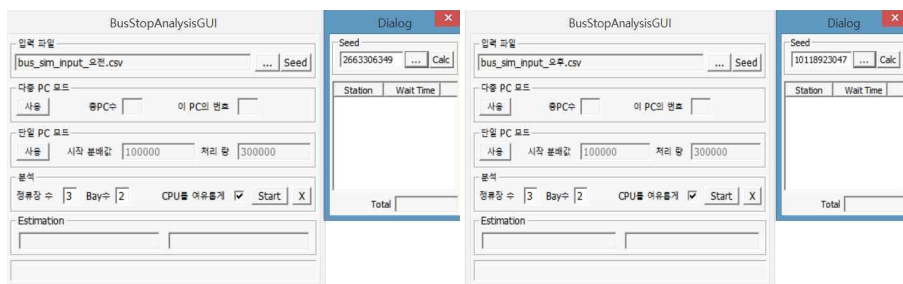
<그림 5-12> R_{seed} 의 대기시간 산출 Seed 입력

[step 4] 운영중인 노선배분 현황의 구역별 대기시간 계산
 (4.1) Seed창에 운영중인 노선배분 현황에 대한 R_{seed} matrix file(Z_data.csv) 입력은 <그림 5-13>과 같다.



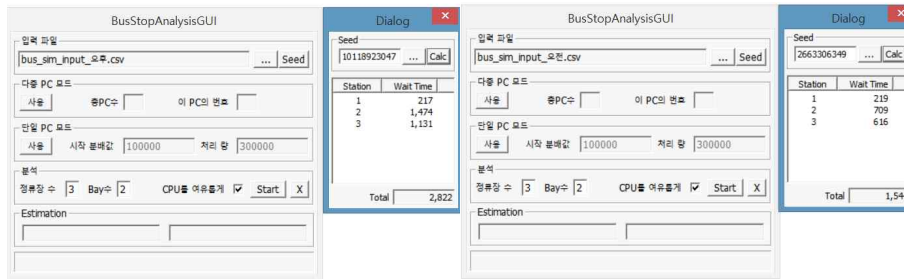
<그림 5-13> R_{seed} matrix file(Z_data.csv) 입력

(4.2) 해당 R_{seed} matrix의 $seed$ 값을 자동 검색과정은 <그림 5-14>와 같다.



<그림 5-14> $seed$ 값 자동 검색

(4.3) 각 구역별 대기시간 계산과정은 <그림 5-15>와 같다.



<그림 5-15> 구역별 대기시간 산출

휴리스틱한 접근법에 의해 운영중인 노선배분 현황에 대하여 전체 정류장 총 대기시간 산출 결과 <표 5-9>와 같이 오전 침두시 1,544초, 오후 침두시 2,822초이다. 모형에 따른 최적 해를 통한 총 대기시간은 버스 이용자의 버스 노선 이용 편의 고려시 오전 침두시 472초, 오후 침두시 859초로 오전 침두시의 경우 1,072초, 오후 침두시의 경우 1,963초로 최적화 되었다. 이용자 노선이용 편의 미고려시 오전 침두시 209초, 오후 침두시 610초로 오전 침두시의 경우 1,335초, 오후 침두시의 경우 2,212초 최적화 되는 것으로 분석 되었다.

<표 5-9> 휴리스틱 접근법과 최적화모형 대기시간 분석 결과

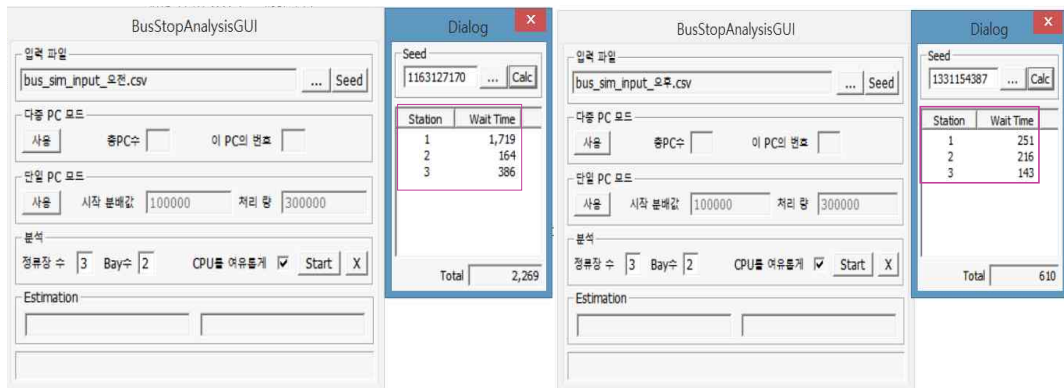
구 분	휴리스틱 접근법(a)	최적화모형		(a)-(b)	(a)-(c)
		이용자 고려(b)	이용자 미고려(c)		
오전(07:00~09:00)	1,544초	472초	209초	1,072초	1,335초
오후(18:00~20:00)	2,822초	859초	610초	1,963초	2,212초

오전, 오후 침두시 전체 정류장의 총 대기시간은 이용자 고려시와 미고려시 각각 472초, 859초와 209초, 610초로 최적화하는 해로 같은 그룹의 노선이 구역별로 다르게 배분되는 여러 개의 해가 산출되었다. 정류장별 배치안을 검토하기 위해 <그림 5-16>과 같이 각 최적화 해의 구역별 총 대기시간을 산정하였다.

$$\sum_{s=1}^3 f_{seed}(s) \text{ of } \min[Z_{seed}]$$

여기서, $f_{seed}(s) = \sum_{t=0}^T fg_{seed}(s,t)$

$$fg_{seed}(s,t) = \max[g_{seed}(s,t) - sn, 0]$$



〈그림 5-16〉 정류장별 대기시간 산출

이용자 고려시 구역별 대기시간 산정 결과는 <표 5-10>, <표 5-11>과 같다. 송내 환승시설의 구역별 정류장 배치여건 등을 고려하여 노선 배분 중첩도를 검토한 결과 오전 첨두시의 경우 A구역은 1그룹 : 7-1, 16, 70, 23, 33, 50-1, B구역은 2그룹 : 70-3, 673, 12-1, 25, 8, 66, 15, 53, 700, C구역은 3그룹 : 83, 96, 1, 27, 96-1, 7-4, 23-5이다. 오후 첨두시의 경우는 A구역은 1그룹 : 83, 96, 1, 50-1, 27, B구역은 2그룹 : 23-5, 23, 33, 15, 66, 70, 12-1, 25, C구역은 3그룹 : 70-3, 673, 8, 16, 7-1, 53, 700, 96-1, 7-4로 나타났다.

〈표 5-10〉 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 고려_오전첨두시

오전		A구역	B구역	C구역
1	노선	70-3,673,12-1,25,8,66,15,53,700	7-1,16,70,23,33,50-1	83,96,1,27,96-1,7-4,23-5
	대기시간 (472초)	282초	2초	188초
2	노선	7-1,16,70,23,33,50-1	70-3,673,12-1,25,8,66,15,53,700	83,96,1,27,96-1,7-4,23-5
	대기시간 (472초)	2초	282초	188초

〈표 5-11〉 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 고려_오후첨두시

오전		A구역	B구역	C구역
1	노선	23-5,23,33,15,66,70,12-1,25	83,96,1,50-1,27	70-3,673,8,16,7-1,53,700,96-1,7-4
	대기 시간 (859초)	285초	140초	434초
2	노선	83,96,1,50-1,27	23-5,23,33,15,66,70,12-1,25	70-3,673,8,16,7-1,53,700,96-1,7-4
	대기 시간 (859초)	140초	285초	434초

이용자 미고려시 구역별 대기시간 산정 결과는 〈표 5-12〉, 〈표 5-13〉과 같다. 송내 환승시설의 구역별 정류장 배치여건 등을 고려하여 노선 배분 중첩도를 검토한 결과 오전 첨두시의 경우 A구역은 2그룹 : 12-1, 27, 70, 673, 96, 66, 15, 33, B구역은 1그룹 : 83, 70-3, 7-1, 8, 96-1, C구역은 3그룹 : 16, 7-4, 53, 23, 700, 50-1, 25, 23-5, 1이다. 오후 첨두시의 경우는 A구역은 1그룹 : 8, 23, 15, 700, 70, 12-1, 96, B구역은 2그룹 : 70-3, 16, 7-1, 53, 66, 25, 673, C구역은 3그룹 : 83, 23-5, 50-1, 96-1, 27, 33, 7-4, 1으로 나타났다.

〈표 5-12〉 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 미고려_오전첨두시

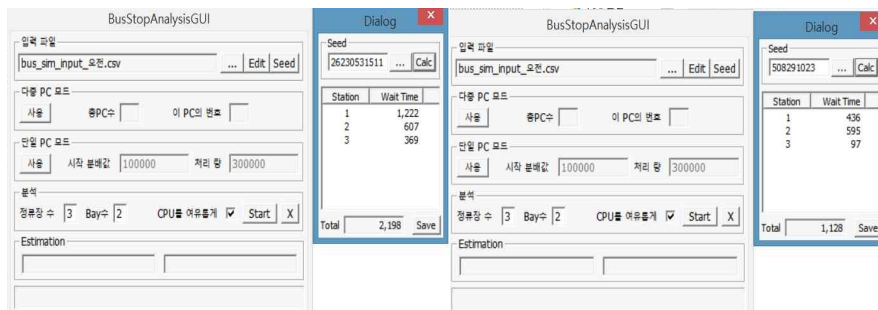
오전		A구역	B구역	C구역
1	노선	83, 70-3,7-1, 8, 96-1	12-1,27,70,673,96, 66, 15,33	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1
	대기 시간 (209초)	63초	114초	32초
2	노선	12-1,27,70,673,96, 66,15,33	83, 70-3,7-1, 8, 96-1	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1
	대기 시간 (209초)	114초	63초	32초
3	노선	12-1,27,70,673,96, 66, 15,33	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1	83, 70-3,7-1, 8, 96-1
	대기 시간 (209초)	114초	32초	63초
4	노선	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1	12-1,27,70,673,96, 66, 15,33	83, 70-3,7-1, 8, 96-1
	대기 시간 (209초)	32초	114초	63초
5	노선	12-1,27,70,673,96, 66, 15,33	83, 70-3,7-1, 8, 96-1	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1
	대기 시간 (209초)	114초	63초	32초
6	노선	83, 70-3,7-1,8, 96-1	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1	12-1,27,70,673,96, 66, 15,33
	대기 시간 (209초)	114초	32초	114초

〈표 5-13〉 최적화모형_정류장별 대기시간_이용자 미고려_오후첨두시

오 후		A구역	B구역	C구역
1	노선	8,23,15,700,70,12-1,96	70-3,16,7-1,53,66,25,673	83,23-5,50-1,96-1,27,33,7-4,1
	대기시간 (610초)	216초	251초	143초
2	노선	70-3,16,7-1,53,66,25,673	8,23,15,700,70,12-1,96	83,23-5,50-1,96-1,27,33,7-4,1
	대기시간 (610초)	251초	216초	143초
3	노선	8,23,15,700,70,12-1,96	83,23-5,50-1,96-1,27,33,7-4,1	70-3,16,7-1,53,66,25,673
	대기시간 (610초)	216초	143초	251초

휴리스틱 접근방법과 최적화 모형의 이용자 고려시와 미고려시 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간이 오전, 오후 각각 상이하다. 〈표 5-10〉, 〈표 5-11〉, 〈표 5-12〉, 〈표 5-13〉에서와 같다. 최적화 모형에 따른 이용자 고려시와 미고려시의 경우 오전, 오후 첨두시의 노선배분 해도 달라진다. 이는 개별 버스가 이용하는 오전, 오후 첨두시의 도로조건 및 교통조건에 따라 버스정류장에 도착하는 개별 버스의 도착분포, 승하·차인원에 따른 정차시간 등의 변화가 반영된 것으로 판단된다.

송내 환승시설의 일 첨두시간은 오후 첨두시로 오후 첨두시에 대한 관리가 더 필요한 상황으로 최적화 모형에 따른 이용자 고려시와 미고려시의 오후 첨두시 기준의 노선 배분 해를 오전 첨두시에 적용했을 때의 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간 검토 과정은 〈그림 5-17〉과 같다. 분석 결과는 〈표 5-14〉와 같다. 이용자 고려시 2,198초, 이용자 편의 미고려시 1,128초로 휴리스틱 접근법에 따른 오전 첨두시 대기시간과 비교할 때 이용자 편의 고려시에만 대기시간이 654초 추가적으로 발생하는 것으로 검토 되었다.



〈그림 5-17〉 오후 첨두시 노선배분을 오전 첨두시에 적용시 대기시간 산출

〈표 5-14〉 오후 침두시 노선배분 해를 오전 침두시에 적용시 대기시간

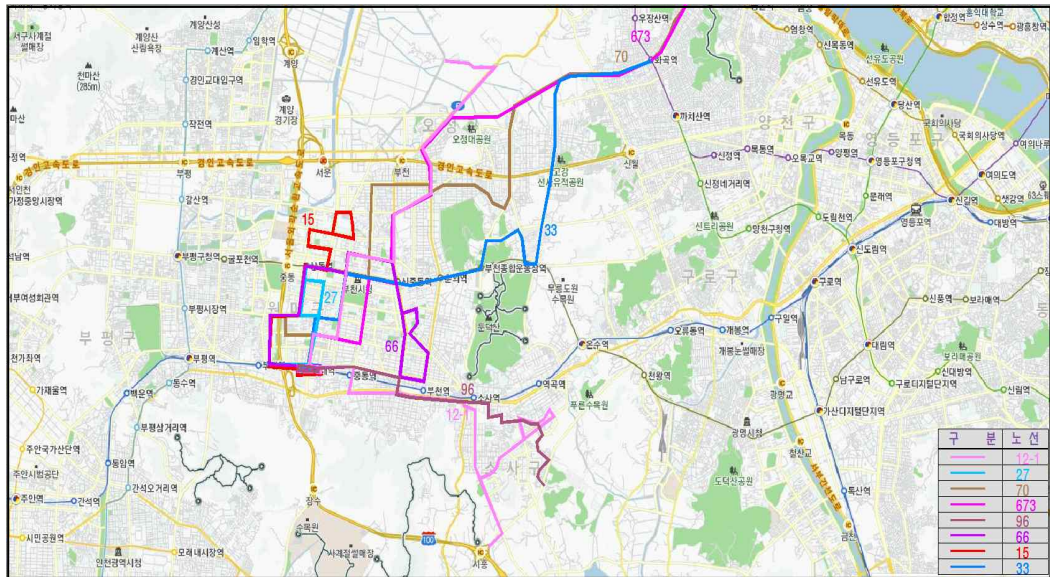
구 분		휴리스틱 접근법	최적화모형 (오후 침두시 노선배분을 오전 침두시 적용시 대기시간)	
			이용자 고려	이용자 미고려
대기 시간	오전	1,544초	472초(2,198초)	209초(1,128초)
	오후	2,822초	859초	610초

오전, 오후 침두시 노선배분 해가 상이함에 따라 송내 환승시설의 일 침두시인 오후 침두시 노선배분 해를 오전 침두시에 적용한 결과 오전 침두시의 최적화된 대기시간을 초과하는 것으로 검토 되었다. 오전, 오후 침두시간에 시스템 측면과 이용자 측면이 모두 균형 상태에서의 최적화된 대기시간을 갖는 노선배분 해를 계획하도록 조건을 고려하는 것이 필요하다. 이용자 미고려시 〈표 5-15〉와 같이 오전, 오후 침두시의 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 노선 배분해에 대하여 이용자 이용 편의에 대한 노선 특성 검토 결과 〈그림 5-18〉 ~ 〈그림 5-23〉와 같다.

〈표 5-15〉 이용자 미고려시__오전, 오후 침두시 최적 노선배분 해

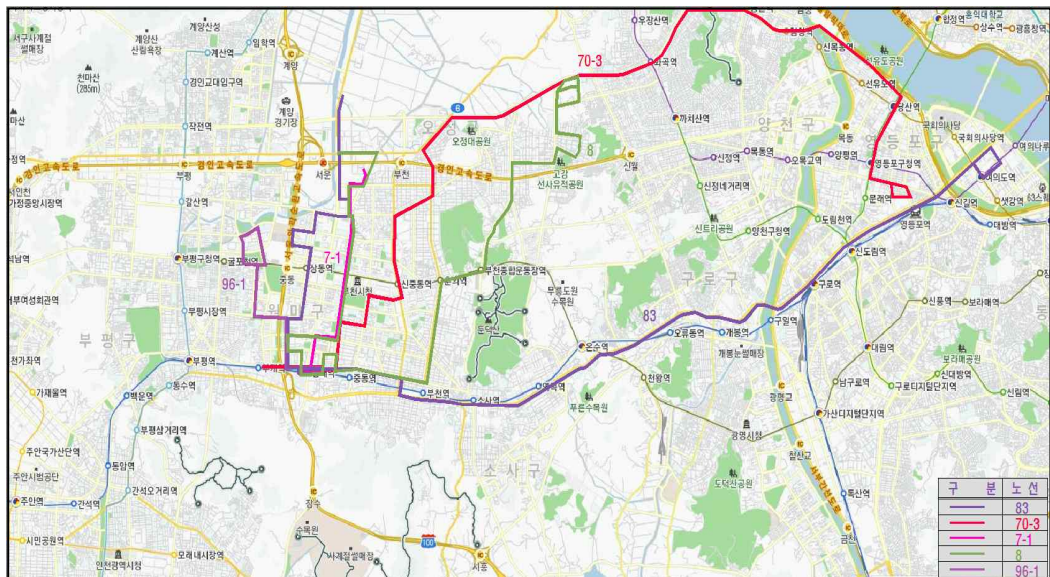
구 분	1그룹	2그룹	3그룹
오전 침두시	12-1,27,70,673,96,66,15,33	83,70-3,7-1,8,96-1	16,7-4,53,23,700,50-1,25,23-5,1
오후 침두시	8, 23, 15 700, 70, 12-1, 96	70-3, 16, 7-1 53, 66, 25, 673	83, 23-5, 50-1 96-1, 27, 33, 7-4,1

〈그림 5-18〉에서와 같이 오전 침두시 1그룹은 소사방면 노선인 12-1번, 96번을 제외하고 나머지 노선은 송내~상동~서울방면 노선으로 방향성이 유사하다.



〈그림 5-18〉 오전 침두시-1그룹노선

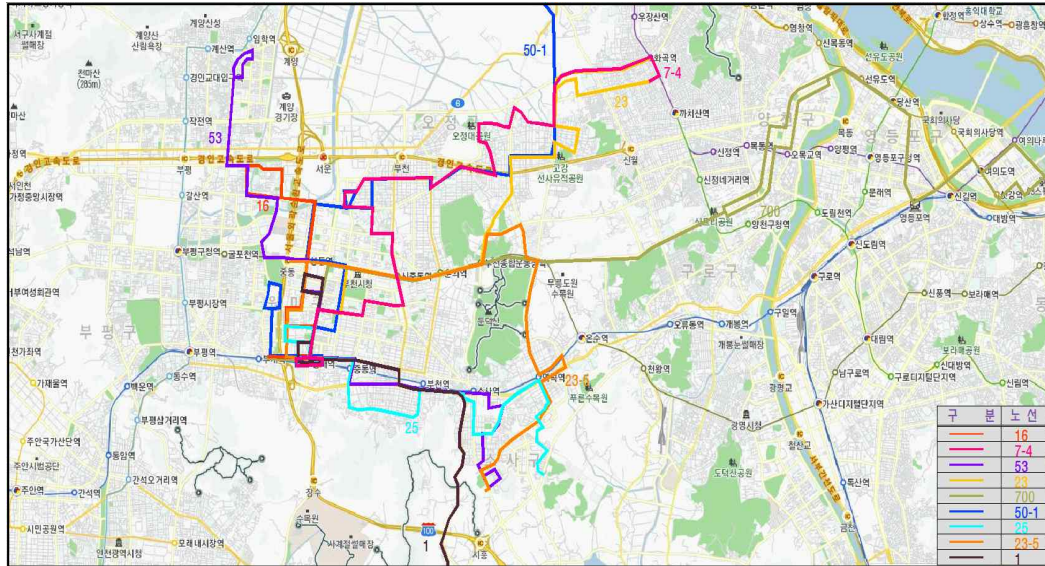
〈그림 5-19〉와 같이 오전 침두시 2그룹은 상동방면 7-1번 노선과 인천(부개)방면 96-1번을 제외하고 나머지 노선은 송내~오정방면 노선으로 방향성이 유사하다.



〈그림 5-19〉 오전 침두시-2그룹노선

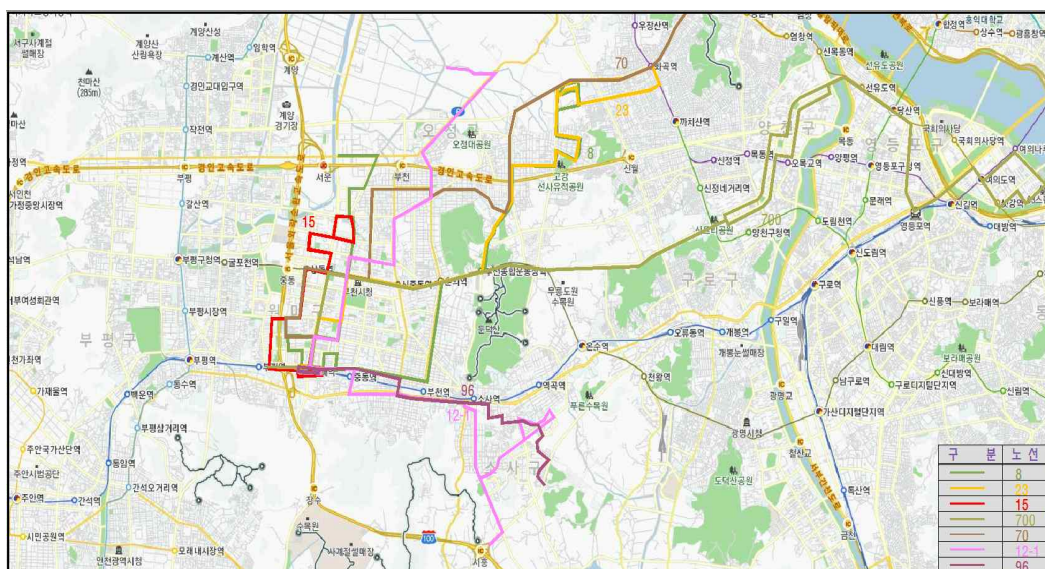
〈그림 5-20〉과 같이 오전 침두시 3그룹은 소사방면 25번 노선과 안산, 시흥방면 1번 노선을 제외하고 나머지 노선은 중·상동을 경유하는 서울

방면 노선으로 방향성이 유사하다. 오전 침두시 노선배분 계획의 1, 2, 3 그룹중 일부노선은 동일 그룹의 노선들과 방향성이 상이하여 이용자 측면에서의 이용편의가 최적화된 해라고 판단하기에는 다소 어려움이 있다.



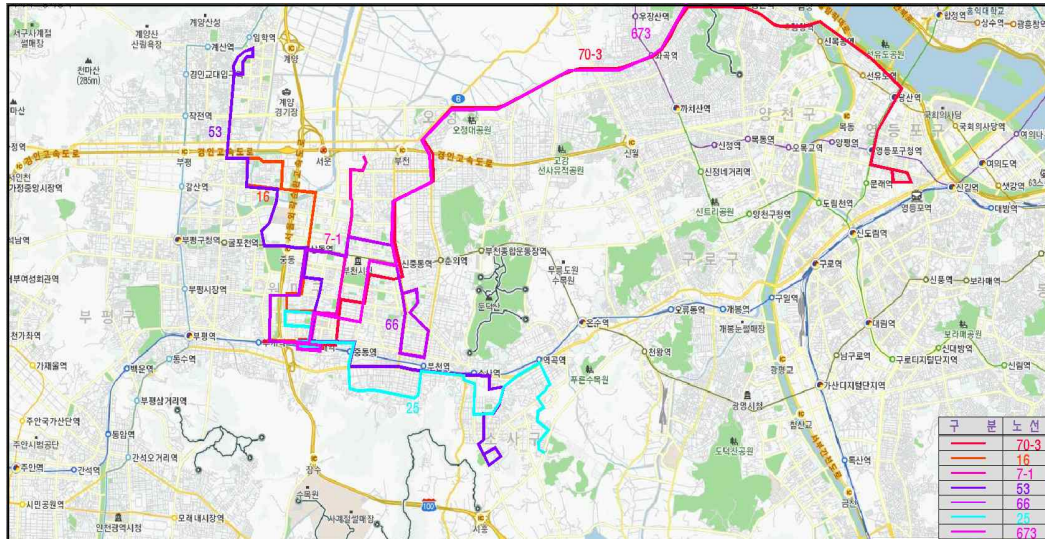
〈그림 5-20〉 오전 침두시-3그룹노선

〈그림 5-21〉에서와 같이 오후 침두시 1그룹은 상동방면 15번 노선과, 소사방면 96번 노선을 제외하고 나머지는 송내~오정~서울방면 노선으로 방향성이 유사하다.



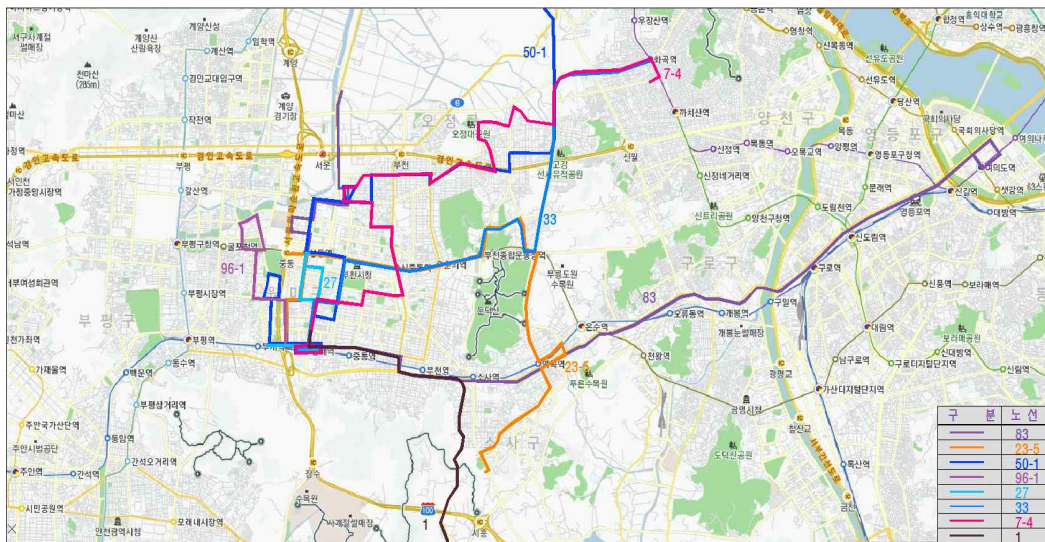
〈그림 5-21〉 오후 침두시-1그룹노선

<그림 5-22>에서와 같이 오후 침두시 2그룹은 오정방면 70-3번 노선, 소사방면 25번 노선, 오정,서울방면 673번 노선을 제외한 나머지 노선은 송내~상동방면 노선으로 방향성이 유사하다.



<그림 5-22> 오후 침두시-2그룹노선

<그림 5-23>는 오전 침두시 3그룹으로 인천(부개)방면 96-1번 노선과 상동방면 27번 노선을 제외하고 나머지 노선은 송내~소사~서울방면 노선으로 방향성이 유사하다. 오후 침두시의 경우도 노선배분 계획의 1, 2, 3 그룹중 일부노선은 동일 그룹의 노선들과 방향성이 상이하여 이용자 측면에서의 이용편의가 최적화된 해라고 판단하기에는 다소 어려움이 있다.



<그림 5-23> 오후 침두시-3그룹노선

결과적으로 버스정류장에 도착하는 개별 버스 단위의 미시적 수준에서의 운행 패턴 데이터를 토대로 정수계획법을 이용하여 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화가 되는 노선배분 해를 제시하였다. 이용자 편의를 고려하기 위해 유사경로 노선은 동일 구역에 배분하는 조건을 반영한 경우와 이용자 편의를 고려하지 않고 노선수(n)와 구역별 정류장수(sn) 크기 만큼의 조합 가능한 모든 경우의 수만큼 Matrix를 계산하여 동일한 대기시간을 갖는 여러개 해가 같은 그룹의 노선이 구역별로 다르게 배분되는 해가 산출되었다.

최적화 모형 중 이용자 편의 미고려시 산출된 최적 노선배분 해의 동일 그룹노선의 1, 2, 3 그룹에 대하여 휴리스틱 접근방법에서 이용자 이용편의를 위한 대안 검토시 기준인 진출부 방향 기준(직/좌/우), 최종 목적지 기준, 주요 경유지 기준에 대하여 2개 노선 이하 기준이 상이하거나 3개 노선 이상 기준이 상이할 때를 검토한 결과를 정리하면 <표 5-16>과 같다. 오전, 오후 첨두시 모두 이용자 측면에서의 정류장 이용편의가 최적화된 해라고 판단하기에는 다소 어려움이 있었다.

<표 5-16> 최적 노선배분 해의 이용자 이용 편의성 검토

구 분		1그룹	2그룹	3그룹
오전 첨두시	노선 그룹	12-1, 27, 70, 673, 96, 66, 15, 33	83, 70-3, 7-1, 8, 96-1	16, 7-4, 53, 23, 700, 50-1, 25, 23-5, 1
	대안A(진출부 방향좌우,직)	×	×	×
	대안B(최종 목적지)	△	△	△
	대안C(주요 경유지)	△	△	△
오후 첨두시	노선 그룹	8, 23, 15, 700, 70, 12-1, 96	70-3, 16, 7-1, 53, 66, 25, 673	83, 23-5, 50-1, 1, 96-1, 27, 33, 7-4
	대안A(진출부 방향좌우,직)	×	×	×
	대안B(최종 목적지)	△	×	△
	대안C(주요 경유지)	△	×	△

주: △: 2개 노선이하 기준 상이, ×: 3개 노선 이상 기준 상이

본 연구에서 이용자 측면을 고려하기 위해 오후 첨두시 기준으로 볼 때 휴리스틱 접근방법과 최적화 모형에서 제시된 노선배분 해가 <표 5-17>과 같이 상이하다. 대기시간도 2,822초와 859초로 차이가 나는

것으로 분석 되었다. 이는 휴리스틱 접근방법에서 제시된 노선배분 해는 이용자 측면을 고려하기 위한 대안 분류기준(진출부 진행방향 기준, 최종 목적지 기준, 주요 경유지(방향성) 기준) 중 노선의 유사한 방향성(A구역:시청, 서울방향, B구역:소풍,인천방향, C구역:부천대, 시흥방향)에 따른 노선배분 해이고 최적화 모형은 주요 노선경로가 유사한 경우 동일 구역에 배분하는 조건이 반영됨에 따라 서로 다른 노선배분 조건에 따른 것으로 판단된다.

〈표 5-17〉 휴리스틱 접근방법과 최적화 모형 이용자 고려시 노선배분 현황

구분	1그룹	2그룹	3그룹	대기시간
휴리스틱 접근방법	83, 12-1, 96, 25, 23-5, 1	16, 27, 96-1, 66, 15, 53, 700	70-3, 7-1, 70, 673, 8, 7-4, 23, 50-1, 33	2,822초
최적화 모형 (이용자 고려시)	83,96,1,50-1,27	23-5,23,33,15,66, 70,12-1,25	70-3,673,8,16,7-1, 53,700,96-1,7-4	859초

제6장 모형 검증 및 평가

제1절 검증방법

본 연구에서 수립한 모형을 통해 산출된 송내 환승시설 전체 정류장의 총 대기시간을 최적화하는 노선배분 해를 검증하였다. 송내 환승시설의 침두시인 오후 침두시를 기준으로 휴리스틱한 접근법에 따라 현재 운영중인 노선배분 현황을 시나리오 1로 하고 본 연구에서 수립한 모형으로부터의 최적화된 노선배분 계획중 이용자 고려시를 시나리오 2, 이용자 미고려시를 시나리오 3으로 하여 VISSIM을 이용하여 <그림 6-1>과 같은 절차를 거쳐 시뮬레이션 하였다.

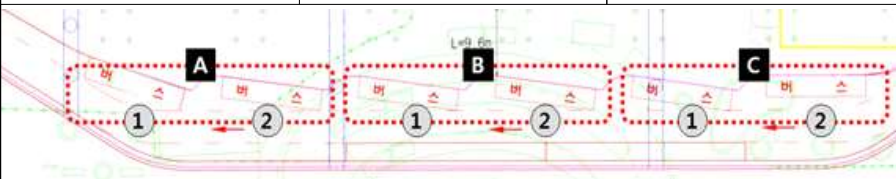
단계	주요내용
시나리오 구성 (Input)	· 시나리오 및 Base map작성
	교통량 조사 및 문헌자료를 이용한 보정데이터 활용
	신호현시 현장조사시 조사된 신호현시 적용
	버스 · 버스정류장, 베이형태 입력 · 버스노선, 배차시간, 정차시간 조사치 입력
시뮬레이션	각 시나리오별로 시뮬레이션 실행 - 시나리오 #1 : 휴리스틱 접근법에 따른 노선배분 - 시나리오 #2 : 최적화 모형_이용자 고려시 노선배분 - 시나리오 #3 : 최적화 모형_이용자 미고려시 노선배분
효과분석	· MOE : 환승시설 3개 정류장의 총 대기비용

<그림 6-1> 시뮬레이션(VISSIM) 절차

1. 시나리오

시뮬레이션하기 위한 시나리오별 구역별 노선배분 현황은 <표 6-1>과 같다. 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 시나리오 1은 각 구역별 9, 7, 6개 노선, 최적화 모형에서 이용자를 고려한 시나리오 2는 각 구역별 5, 8, 9개 노선, 이용자 미고려시 시나리오 3은 각 구역별 7, 7, 8개 노선으로 정의하여 시뮬레이션 하였다.

<표 6-1> 시뮬레이션 시나리오

구 분	A구역	B구역	C구역
정류장 현황			
시나리오 1 (휴리스틱 접근방법) [A:9/B:7/C:6]	70-3, 7-1, 70, 673, 8, 7-4, 23, 50-1, 33	16, 27, 96-1, 66, 15, 53, 700	83, 12-1, 96 25, 23-5, 1
시나리오 2 (최적화모형_이용자고려) [A:5/B:8/C:9]	83, 96, 1, 50-1, 27	23-5, 23, 33, 15, 66, 70, 12-1, 25	70-3, 673, 8, 16, 7-1, 53, 700, 96-1, 7-4
시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려) [A:7/B:7/C:8]	8, 23, 15 700, 70, 12-1, 96	70-3, 16, 7-1 53, 66, 25, 673	83, 23-5, 50-1 96-1, 27, 33, 7-4

2. 시뮬레이션 조건

제5장에서 제시하는 최적화 모형에 대한 평가 및 검증을 위해 송내 환승시설 침두시 기준으로 VISSIM 시뮬레이션 입력자료의 조건은 다음과 같다.

- ① 평가(VISSIM 시뮬레이션 입력자료)자료
 - 2016. 6.28. 오후 침두시 18:00~19:00
 - VISSIM 입력변수

- : 차로수 및 차로폭, 도로기하구조, 차로운영계획
- : 방향별 교통량, 신호값
- : 정류장형태, 배이유무, 노선, 정차시간, 배차간격

시뮬레이션을 위해 시나리오별로 Base Map에 기하구조 및 차로운영 (차로수→회전교통→상충지점 우선순위 정의→신호:주기, 방향별 현 시 입력→버스정류장 지정)을 설정하였다. 시나리오별 각 구역별 노선별 진입대수에 따른 정차시간, 총 정차시간, 평균 정차시간 배분 결과는 <표 6-2>와 같다. A구역의 경우 시나리오 2가 시나리오 1과 시나리오 3보다 정차시간이 낮게 배분되었다. B구역의 경우는 시나리오 1이 시나리오 2, 3보다 정차시간이 낮게 배분 되었다. C구역의 경우는 시나리오 1과 3이 시나리오 2보다 정차시간이 낮게 배분 되었다.

<표 6-2> 시나리오별, 노선별 정차시간

A구역											
시나리오 1 (휴리스틱 접근방법)				시나리오 2 (최적화모형_이용자고려)				시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려)			
노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)
673	4	24.5	98.0	83	17	29.4	499.0	8	3	20.3	61.0
23	6	56.7	340.0	96	3	39.7	119.0	23	6	56.7	340.0
33	3	37.7	113.0	1	2	10.5	21.0	15	8	66.0	528.0
50-1	9	20.7	186.0	50-1	9	20.7	186.0	700	4	9.2	37.0
70	4	25.0	100.0	27	8	44.0	352.0	70	4	25.0	100.0
70-3	7	36.3	254.0					12-1	16	27.9	447.0
7-1	9	48.1	433.0					96	3	39.7	119.0
7-4	1	27.0	27.0								-
8	3	20.3	61.0								-
계	46		1,612.0	계	39		1,177.0	계	44		1,632.0
평균 정차시간			35.0	평균 정차시간			30.2	평균 정차시간			37.1

B구역											
시나리오 1 (휴리스틱 접근방법)				시나리오 2 (최적화모형_이용자고려)				시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려)			
노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)
15	8	66.0	528.0	23-5	4	29.8	119.0	70-3	7	36.3	254.0
16	9	40.2	362.0	23	6	56.7	340.0	16	9	40.2	362.0
27	8	44.0	352.0	33	3	37.7	113.0	7-1	9	48.1	433.0

53	11	26.1	287.0	15	8	66.0	528.0	53	11	26.1	287.0
66	6	31.2	187.0	66	6	56.7	187.0	66	6	31.2	187.0
700	4	9.2	37.0	70	4	29.8	100.0	25	4	12.3	49.0
96-1	2	55.5	111.0	12-1	16	27.9	447.0	673	4	24.5	98.0
				25	4	12.3	49.0				
계	48		1,864.0	계	51		1,883.0	계	50		1,670.0
평균 정차시간			38.8	평균 정차시간			36.9	평균 정차시간			33.4

C구역

시나리오 1 (휴리스틱 접근방법)				시나리오 2 (최적화모형_이용자고려)				시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려)			
노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)	노선	진입 대수 (대)	정차 시간 (초)	총정차 시간(초)
1	2	10.5	21.0	70-3	7	36.3	254.0	83	17	29.4	499.0
12-1	16	27.9	447.0	673	4	48.1	98.0	23-5	4	29.8	119.0
23-5	4	29.8	119.0	8	3	20.3	61.0	50-1	9	20.7	186.0
25	4	12.3	49.0	16	9	40.2	362.0	96-1	2	55.5	111.0
83	17	29.4	499.0	7-1	9	48.1	433.0	27	8	44.0	352.0
96	3	39.7	119.0	53	11	26.1	287.0	33	3	37.7	113.0
				700	4	9.2	37.0	7-4	1	27.0	27.0
				96-1	2	55.5	111.0	1	2	10.5	21.0
				7-4	1	27.0	27.0				
계	46		1,254.0	계	50		1,670.0	계	46		1,428.0
평균 정차시간			27.3	평균 정차시간			33.4	평균 정차시간			31.0

주: 정차시간은 2016년 6월 28일 오후 침두시(18:00~19:00) 정차면 검지기 수집데이터 적용

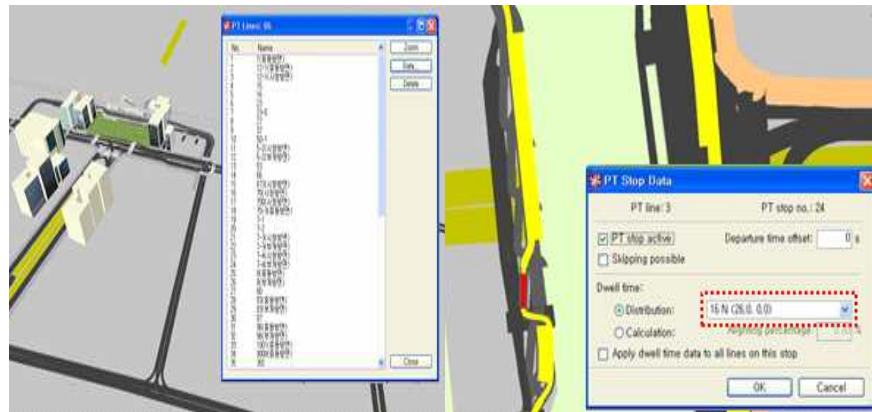
결과적으로 <표 6-2>에서 시나리오별 각 구역별 총 정차시간 및 평균 정차시간을 정리하면 <표 6-3>과 같다. 구역별 정차시간이 시나리오 2와 3이 시나리오 1보다 균등한 정차시간 배분이 이루어지는 것으로 검토 되었다.

<표 6-3> 시나리오별 정차시간

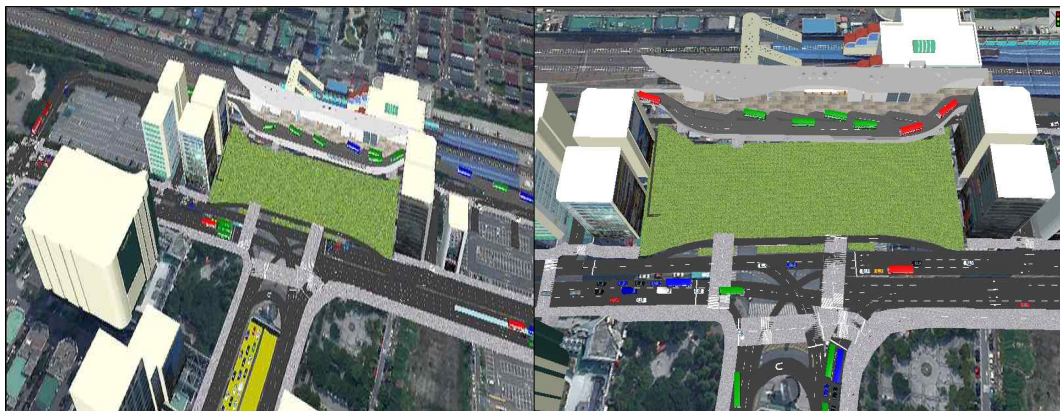
(단위:sec)

구 분	시나리오 1 (휴리스틱 접근방법)			시나리오 2 (최적화모형_이용자고려)			시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려)		
	A구역	B구역	C구역	A구역	B구역	C구역	A구역	B구역	C구역
총 정차시간	1,620	1,864	1,254	1,177.0	1,883.0	1,670.0	1,632	1,670	1,428
평균 정차시간	35.0	38.8	27.3	30.2	36.9	33.4	37.1	33.4	31.0

〈그림 6-2〉는 대중교통 노선과 노선에 대한 정차시간을 부여하는 과정을 거쳐 〈그림 6-3〉과 같이 시뮬레이션을 실행하였다.



〈그림 6-2〉 노선 및 노선정차시간 입력(12-1번, 정차시간 26초)



〈그림 6-3〉 시뮬레이션 수행

3. 평가지표

제4장에서 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 계획에 대하여 평가시 활용한 VISSIM 시뮬레이션 결과값인 대기비율을 평가지표로 하였다. 평가지표 선정에 있어 전체 정류장의 총 대기시간을 최적화하는 노선 배분 해를 찾기 위한 최적화 모형에서의 제약변수인 대기시간이 아닌 대기비율로 평가지표를 선정한 사유는 첫째, 휴리스틱 접근방법의 평가지표 선정 사유와 마찬가지로 대중교통 여건을 반영하며 미

시적인 수준에서 시뮬레이션이 가능한 VISSIM을 활용함에 있어 시뮬레이션 결과값을 대기비율이 아닌 대기시간으로 할 경우 분석자가 시뮬레이션 영상을 통해 다시 육안으로 대기시간을 측정해야하는 문제점을 고려하였다. 둘째, 김웅철과 최대현(2010)는 서울시의 중앙버스전용차로 정류장의 버스도착특성에 따른 정류장의 적정 정차면수 평가지표로 대기차량발생비율을 고려하여 정책결정시 대기차량 비율을 어느 정도까지 허용할 것인지를 제시하였는데 이를 적용하였다.

본 연구에서도 송내 환승시설 다중 버스정류장에서 수집된 BIS 정류장 이벤트 자료와 검지기 정차면 이벤트 자료를 토대로 본 연구에서 수립한 모형을 평가하기 위해 휴리스틱 접근법에 의한 현재 운영중인 노선배분(시나리오 1)과 모형에서 도출된 최적화된 노선배분 해 중 이용자 고려시(시나리오 2)와 미고려시(시나리오 3)에 대하여 각 정류장별 대기시간과 송내 환승시설 3개 전체 정류장의 총 대기비율의 합을 평가지표(MOE : Measurement of Effectiveness)로 하여 비교 분석하였다.

평가지표인 총 대기비율은 T 시간동안 전체 정류장에 진입하는 전체 대수 중 정차면이 선 도착 버스들로 점유되어 도착하는 버스들이 정차면에 진입할 수 없어서 정류장의 끝부분에 대기하는 총 버스 대수의 비율(W_{nr})을 의미하며 이때 T시간동안 정체 정류장에 진입하는 전체 대수에는 대기하는 총 버스대수도 포함하는데 식(6-1)과 같다.

$$W_{nr} = \sum_{s=1}^n \left\{ \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{W_{(t, sn)}}{N_{(t, s)}} \right\} \right\} \quad \Delta (6-1)$$

여기서, W_{nr} : 전체 정류장 총 대기비율(%)

s : 정류장수

$N_{(t, s)}$: 시점 t에서의 정류장 s의 진입대수, $N_{(t, s)} \geq W_{(t, sn)}$

$W_{(t, sn)}$: 시점 t에서의 정류장 s의 대기대수

제2절 모형 평가

본 연구에서 수립한 모형을 평가하기 위해 휴리스틱한 접근방법에 의해 현재 운영중인 노선배분(시나리오 1)과 모형에서 도출된 최적화된 노선배분 해 중 이용자 고려시(시나리오 2)와 미고려시(시나리오 3)를 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션한 결과 <표 6-4>와 같다. 이용자 고려시는 시나리오별 · 구역별 대기비율은 시나리오 2가 시나리오 1보다 A구역의 경우 41.38% 감소, B구역의 경우 28.92% 감소, C구역의 경우 81.82% 증가하는 것으로 분석 되었다. 송내 환승시설 총 대기비율(W_{nr})은 시나리오 1 대비 시나리오 2가 시간당 전체 구역의 대기비율이 10.8% 감소, 3개 구역에 대한 평균 대기비율은 9.86% 감소하는 것으로 분석 되었다. 이용자 미 고려시는 시나리오별 · 구역별 대기비율은 시나리오 3이 시나리오 1보다 A구역의 경우 48.28% 감소, B구역의 경우 27.71% 감소, C구역의 경우 0.0%로 분석 되었다. 송내 환승시설 총 대기비율(W_{nr})은 시나리오 1 대비 시나리오 3이 시간당 전체 구역의 대기비율이 43.92% 감소, 3개 구역에 대한 평균 대기비율은 30.99% 감소하는 것으로 분석 되었다.

<표 6-4> 모형 MOE 평가

구 분	시나리오 1 (휴리스틱 접근방법)				시나리오 2 (최적화모형_이용자고려)				시나리오 3 (최적화모형_이용자 미고려)			
	계	A구역	B구역	C구역	계	A구역	B구역	C구역	계	A구역	B구역	C구역
진입대수(대)	140	46	48	46	140	39	51	50	140	44	50	46
대기대수(대)	10	4	4	2	9	2	3	4	7	2	3	2
$W_{nr}(\%)$	21.3	8.7	8.3	4.3	20.9	5.1	5.9	8.0	14.8	4.5	6.0	4.3
	7.1(평균)				7.1(평균)				4.9(평균)			
대기비율 차이, %					시나리오1 vs 시나리오2				시나리오1 vs 시나리오3			
					10.8	41.38	28.92	-81.82	43.92	48.28	27.71	-
					9.86 (평균)				30.99 (평균)			

제7장 결론 및 향후과제

제1절 결론

본 연구는 거시적 측면에서 정보통신 기술 발달과 함께 빠르게 성장해온 ITS기술로 미시적 데이터를 구축하고 버스정류장의 이용 효율을 높이기 위해 최적의 노선운영 계획을 수립함에 있어 알고리즘의 빠른 처리를 위해 분산 컴퓨팅(Distributed Computing) 기술을 적용하여 결과를 제시하였다. 미시적 측면에 있어서는 버스정류장에 도착하는 개별버스의 도착패턴과 버스정류장을 이용하는 개별 버스의 정차패턴에 따라 버스정차면 용량은 달라질 수 있다. 본 연구에서는 초(Sec) 단위의 미시적 수준에서의 분석을 시행하였는데 본 연구가 가지는 내용적·방법론적 의미를 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 일반적으로 실무 현장에서 단일 버스정류장에 소수의 노선을 운영할 경우 인가 배차간격, 운행횟수, 노선수 등을 기준으로 의사 결정을 한다. 송내 환승시설의 경우 이러한 인가자료를 기준으로 노선 배분 계획을 할 경우 모든 노선이 동일한 도로조건, 교통조건을 가지고 버스정류장에 동일한 패턴으로 도착하며 정차면에서 승하·차를 위한 서비스시간도 모두 동일하다는 가정이 포함되었다. 개별 버스의 다양한 도착분포나 정차시간 등의 운행패턴을 반영하지 못하고 정적인 노선 배분 계획이 될 수 있다. 본 연구에서는 실시간으로 운행하는 개별 버스를 대상으로 초(Sec) 단위의 미시적 운행패턴을 수집시스템(BIS, 검지기 등)으로부터 데이터를 구축하여 활용하였다.

둘째, 버스정류장에 도착하는 개별 버스의 도착 및 정차 패턴 특성 및 분포모형을 제시하기 위해 개별 버스를 대상으로 초(Sec) 단위의 미시적 수준에서 분석한 결과 평균 정차시간은 30.81~47.76초, 평균 차두시간은 68.61~78.92초로 분석되었다. 송내 환승시설 다중 버스정류장의 경우 용량에 미치는 영향에 있어서는 정차시간의 경우 매우 높은 음의

상관관계, 차두시간의 경우 매우 낮은 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 차시간변동계수 산정결과 0.46~0.74, 평균 0.6으로 송내 환승시설내 노선들은 불규칙한 정차시간 패턴으로 운영되는 것으로 검토되었다.

셋째, 기존 연구사례에서는 명확한 설명이나 뒷받침 없이 버스정류장에서의 도착분포나 정차면에서의 정차시간 분포모형을 제시하거나 가정하에 분포모형을 제시하는 연구가 대부분인 반면 본 연구에서는 초(Sec) 단위 미시적 운행 자료를 토대로 정차시간과 차두시간의 분포모형을 제시하여 정차면수 적정 여부를 평가하는데 활용하도록 하였다. 정차시간과 차두시간 분포모형 선정에 있어서 선행 연구사례에서 검토된 분포모형(정규, 열랑, 균일, 지수, 감마)을 적용하여 MISE(Mean Integrated Square Error)가 최소화되는 Optimal Bin-width에 따라 적합분포를 검정한 결과 정차시간과 차두시간 분포모형의 경우 각각 K가 3, 1인 열랑분포가 선정되었다. 차두시간 분포모형(Erlang분포)의 누적분포 확률을 통해 송내 환승시설의 경우에는 오전, 오후 모든 구역에서 90.5%~99.9% 범위로 분석되어 적정한 것으로 평가 되었다.

넷째, 다중 버스정류장이 운영되는 환승시설의 경우 노선 배분 문제에 대하여 명확하고 객관적인 업무 지침이나 가이드라인이 마련되어 있지 않아 실무 현장에서 많은 어려움이 있다. 다만 현재로서는 「환승센터 및 복합환승센터 설계·배치기준」을 적용하도록 하고 있는데 실무현장에서 경험하는 경험적 지식과 전문가의 직관적인 판단을 기반으로 하는 휴리스틱 접근법에 따른 노선배분 절차를 단계별로 제시하여 실무 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 하였다. 최적의 노선배분 해를 제시할 수는 없지만 신속한 의사결정이 요구되고 세부적인 데이터 구축이 어려울 경우 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단한다.

다섯째, 휴리스틱 접근방법에 따른 노선배분 계획은 기본적인 전제가 가장 이상적인 대안을 찾기보다는 현실수준에서의 포괄적이고 빠른 시간안에 만족할만한 해답을 도출해 낸다는 장점은 있지만, 때로는

휴리스틱 조건이 틀릴 수 있기 때문에 그로 인한 오류가 발생할 수 있는데 수리적인 모형 수립으로 체계적이고 최적화된 모형을 통한 노선배분이 필요하다. 본 연구에서는 전체 정류장의 총 대기시간이 최소화되는 최적 해를 도출하고자 수학적 모형을 통해 알고리즘 구현하였으며 빠른 데이터 처리를 위해 분산 컴퓨팅 기술을 활용하였다. 송내 환승시설 이용 노선을 대상으로 이용자 편의를 고려할 경우와 고려하지 않을 경우로 구분하여 분석한 결과 휴리스틱 접근방법에 의한 노선배분 계획보다 최적화된 노선배분 계획이 가능하였다. 이용자 편의 고려시 오전 침두시의 경우 1,544초에서 472초, 오후 침두시의 경우 2,822초에서 859초로 최적화되었으며, 이용자 편의 미고려시 오전 침두시의 경우 1,544초에서 209초, 오후 침두시의 경우 2,822초에서 610초로 최적화 되었다.

여섯째, 최적화 모형에서 오전, 오후 침두시 노선배분 해가 서로 상이하게 제시 되었다. 이는 개별 버스가 이용하는 오전, 오후 침두시의 도로 및 교통조건에 따라 버스정류장에 도착하는 개별 버스의 도착 분포와 오전, 오후 침두시별 승하·차인원에 따라 변동하는 정차시간 등의 상이함에 따른 것으로 판단된다.

일곱째, 모형의 일반화를 위한 사후적 검증을 위해 평가지표를 전체 정류장의 대기비율(W_{nr})로 하고 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션한 결과 시나리오별·구역별 대기비율은 이용자 고려시 최적화 모형이 휴리스틱 접근방법보다 시간당 전체 구역의 총 대기비율이 10.8% 감소, 평균 대기비율은 9.86% 감소하였으며, 이용자 미고려시는 시간당 전체 구역의 총 대기비율이 43.92% 감소, 평균 대기비율은 30.99% 감소하는 것으로 분석 되었다. 이 결과는 최적화 모형에 사용된 입력 데이터가 이미 휴리스틱한 접근방법에 의해 어느 정도 구역별로 노선수, 정차대수, 정차시간이 균등하게 노선이 배분된 상태에서부터 산정된 값으로 일반적인 정류장에 적용할 경우 대기비율 감소는 더 클 것으로 예상된다.

본 연구를 통해 다중 버스정류장에서 미시적 수준에서 개별 버스

운행패턴 특성치 및 분포모형을 제시하여 정류장 적정 면수를 평가할 수 있었다. 다중 버스정류장의 효율적 운영을 위해 노선배분 방법론으로 휴리스틱 접근방법과 수리적 모형을 통한 최적화 모형을 제시하였다. BIS를 운영하는 많은 지자체에서는 현장 여건에 따라 선택적으로 활용할 수 있으리라 판단하며 합리적인 버스정류장 시설·운영에 있어 기초적인 연구사례로 활용되기를 기대한다.

제2절 적용방안 및 향후연구

그간 버스정류장 노선배분에 대해 초(Sec) 단위의 미시적 수준에서의 버스 운행행태를 반영한 계획을 할 수 없었다. 본 연구에서 환승시설 이용 개별 버스 단위의 정류장 및 정차면 진출·입 이벤트 자료를 토대로 제시한 정차시간 및 차두시간 분포모형을 통해 버스정류장 정차면 계획 및 운영시 버스정류장 적정 정차면수에 대한 적정 시설 규모를 평가하는데 적용이 가능하다. 한정된 시설을 최적화하여 운영하는 문제에 대해서도 버스정류장에 다수의 노선이 정차하고 정차면이 다수일 경우 구역별 정차면에 노선을 배분해야할 경우 본 연구에서 제시한 휴리스틱 접근방법에 의한 노선배분방식과 전체 정류장의 대기시간이 최소가 되는 노선 배분 최적화 모형은 버스정류장 형태와 관계없이 적용이 가능하다. 버스정류장 혼잡 방지 및 이용자 대기시간 최소화, 버스정류장 운영 효율성 등을 개선할 수 있으리라 판단하며 각 여건에 따라 선택적으로 의사결정 지원수단으로 활용이 가능할 것으로 기대한다.

노선배분 계획에 이용하는 데이터의 경우 BIS를 운영하는 지자체에서는 실무적으로 현장조사 및 분석을 위한 분석기간, 인력, 예산 등을 반영하지 않고 개별 버스 단위의 실시간 BIS 운행 이력 자료를 통해 미시적 수준에서의 버스정류장 운영 계획 수립이 가능하리라 판단된다. 본 연구를 수행함에 있어 여러 가지 제약으로 인하여 반영되지 못한 점이나 학술적으로 좀 더 의미 있는 연구결과로 발전시키기 위한

과제는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 특정일 침두시간대로 한정하여 연구결과를 도출하였는데 좀 더 분석 데이터 범위를 확대하여 다양한 패턴의 정차시간, 차두시간 분포를 반영하여 시스템 측면이나 이용자 측면에서 균등한 상태에서의 최적(Optimal)인 노선배분 해를 제시하는 것이 필요하다.

둘째, 송내 환승시설의 침두시인 오후 침두시 노선배분 해를 오전 침두시에 적용시 최적화 되어 운영되지 못하는 단점이 있다. 특정 침두시에 최적화되는 모형이 아니라 오전, 오후 침두시 동안 환승시설 전체 대기시간이 균등하게 최적화되는 노선배분 해 제시가 필요하다.

셋째, 본 연구의 최적화 모형에서는 이용자 편의를 위해 노선경로가 유사한 경우 동일구역에 배분하는 조건을 반영하였으나 환승시설의 경우 이용자 측면에서 지하철 도착시간과 버스 도착시간과의 스케줄링을 통해 환승 이용자의 환승 대기시간이 최소가 되는 최적화 모형으로 확장하는 것이 필요하다.

넷째, 본 연구에서 제시한 모형은 버스정류장 및 도로조건에 있어 정류장수와 정차면수를 입력값으로 하였으며 각 구역별 정류장 위치가 모두 동일하고 각 구역별 정류장 진출입 버스간에 추월차로 제공과 정류장 유형 및 기하구조 등이 서로 간섭이 없다는 전제하에 수립된 모형이다. 다양한 현장여건에 따라 달라질 수 있는 버스의 운행특성을 잘 반영할 수 있도록 하기 위해 정류장의 위치, 추월차로 여부, 정류장 유형 및 기하구조 조건을 반영하는 것이 필요하다.

다섯째, 본 연구의 결과는 국내 처음으로 시도되는 시범사업으로 부천 송내 환승센터를 중심으로 한 연구 결과이나 본 연구의 결과를 좀 더 일반화하기 위한 고도화 연구로 2018년까지 수원역, 오산역, 지제역 등에 환승센터가 건립이 완료되면 다양한 사례를 바탕으로 연구를 확장하는 것이 필요하다.

부록

□ 노선배분 최적화 프로그램 코드

```
#include <dz1_sync.h>
#include "BusStopAnalysis.h"
#include "BusStopAnalysisDefUtil.h"
#include "BusStopAnalysisThread.h"
////////////////////////////////////
// Distribution
u32_t *BusStopAnalysis_distGen(u64_t v, u32_t n_route, u32_t n_dst, Dz1Error *err)
{
    DZ1_ERROR_SAFE_PTR(errp, err);
    u32_t *ret = (u32_t *)Dz1Calloc(sizeof(u32_t), n_route, errp);
    if (ret == NULL) ERR_OUT(errp);
    else
    {
        u32_t i;
        for (i = 0; i < n_route; i++)
        {
            ret[i] = v % n_dst;
            v = (v - ret[i]) / n_dst;
        }
        return ret;
    }
}

static void _distDump(u32_t v, u32_t n_dst, int tab)
{
    u32_t bit = 0x01 << v, mask = 0x01 << (n_dst - 1);
    Dz1Thread_tprintf(tab, "[ ");
    while(n_dst-->0)
    {
        Dz1Thread_printf("%u ", bit & mask ? 1 : 0);
        mask = mask >> 1;
    }
    Dz1Thread_printf("\n");
}

void BusStopAnalysis_distDump(u32_t *dist, u32_t n_dist, u32_t n_dst, int tab)
{
    if (dist == NULL) Dz1Thread_printf("NULL\n");
    else
    {
        u32_t i;
        Dz1Thread_printf("{\n"); tab++;
        for (i = 0; i < n_dist; i++)
        {
            _distDump(dist[i], n_dst, tab);
        }
        Dz1Thread_tprintf(--tab, "}\n");
    }
}

static void _distReport(u32_t v, u32_t n_dst, BusRouteLine *routes, u32_t route_idx, int tab)
{
    u32_t bit = 0x01 << v, mask = 0x01 << (n_dst - 1);

    BusRouteEntry key = { route_idx }, *node = routes->find(routes, &key);

    Dz1Thread_tprintf(tab, "[ ");
    while(n_dst-->0)
    {
        Dz1Thread_printf("%u ", bit & mask ? 1 : 0);
        mask = mask >> 1;
    }

    if (node == NULL)
```

```

        Dz1Thread_printf("] = [Unknown]\n");
    else Dz1Thread_printf("] = [%s]\n", node->route_name);
}

void BusStopAnalysis_distReport(u32_t *dist, u32_t n_dist, u32_t n_dst, BusRouteLine *routes, int
tab)
{
    if (dist == NULL) Dz1Thread_printf("NULL\n");
    else
    {
        u32_t i;
        Dz1Thread_printf("{\n"); tab++;
        for (i = 0; i < n_dist; i++)
        {
            _distReport(dist[i], n_dst, routes, i, tab);
        }
        Dz1Thread_tprintf(--tab, "\n");
    }
}
// Distribution
/////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////
// BusArrivingScanTable API
BusArrivingScanTable *BusArrivingScanTable_new(u32_t n_dst, u32_t n_step, Dz1Error *err)
{
    DZ1_ERROR_SAFE_PTR(err, err);
    BusArrivingScanTable *ret = (BusArrivingScanTable
*)Dz1Calloc(sizeof(BusArrivingScanTable), 1, err);
    if (ret == NULL) ERR_OUT(err);
    else
    {
        pthread_cleanup_push(BusArrivingScanTable_delAndSetNull, (void *)&ret);

        ret->n_dst = n_dst;
        ret->n_step = n_step;
        if (0) {}
        // additional initialize code here
        else if ((ret->arr = (u32_t *)Dz1Calloc(sizeof(u32_t), ret->n_dst *
ret->n_step, err)) == NULL) ERR_OUT(err);
        else if ((ret->arr_total = (u32_t *)Dz1Calloc(sizeof(u32_t), ret->n_dst,
err)) == NULL) ERR_OUT(err);
        else ERR_CLEAR(err);

        pthread_cleanup_pop(err->code); // (WaveRileyDataList_delAndSetNull,
(void *)&ret);
    }
    return ret;
}

BusArrivingScanTable *BusArrivingScanTable_clone(BusArrivingScanTable *src, Dz1Error *err)
{
    DZ1_ERROR_SAFE_PTR(err, err);
    BusArrivingScanTable *ret = (BusArrivingScanTable
*)Dz1Calloc(sizeof(BusArrivingScanTable), 1, err);
    if (ret == NULL) ERR_OUT(err);
    else
    {
        pthread_cleanup_push(BusArrivingScanTable_delAndSetNull, (void *)&ret);

        ret->n_dst = src->n_dst;
        ret->n_step = src->n_step;
        if (0) {}
        // additional clone code here
        else if ((ret->arr = (u32_t *)Dz1Memory_clone(src->arr, sizeof(u32_t) *
src->n_dst * src->n_step, err)) == NULL) ERR_OUT(err);
        else if ((ret->arr_total = (u32_t *)Dz1Memory_clone(src->arr,
sizeof(u32_t) * ret->n_dst, err)) == NULL) ERR_OUT(err);
        else ERR_CLEAR(err);
    }
}

```

```

        pthread_cleanup_pop(errp->code); // (WaveRileyDataList_delAndSetNull,
(void *)&ret);
    }
    return ret;
}

void BusArrivingScanTable_del(BusArrivingScanTable *p)
{
    if (!p) return;
    // Additional delete code here
    if (p->arr != NULL)
    {
        Dz1Free(p->arr);
        p->arr = NULL;
    }
    if (p->arr_total != NULL)
    {
        Dz1Free(p->arr_total);
        p->arr_total = NULL;
    }
    Dz1Free(p);
}

void BusArrivingScanTable_dump(BusArrivingScanTable *p, int tab)
{
    if (!p) { Dz1Thread_printf("NULL\n"); return; }
    else
    {
        u32_t x, y, idx = 0;
        Dz1Thread_printf("{\n"); tab++;
        // Additional print code here
        for (x = 0; x < p->n_step; x++)
        {
            Dz1Thread_tprintf(tab, "[%4u][", x);
            for (y = 0; y < p->n_dst; y++)
            {
                idx = y * p->n_step + x;
                Dz1Thread_printf("%4u ", p->arr[idx]);
            }
            Dz1Thread_printf("]\n");
        }

        for (x = 0; x < p->n_dst; x++)
            Dz1Thread_tprintf(tab, "D[%u] = %u\n", x, p->arr_total[x]);

        Dz1Thread_tprintf(--tab, "]\n");
    }
}

void BusArrivingScanTable_fdump(FILE *fp, BusArrivingScanTable *p, int tab)
{
    if (!p) { Dz1Thread_fprintf(fp, "NULL\n"); return; }
    else
    {
        u32_t x, y, idx = 0;
        Dz1Thread_fprintf(fp, "{\n"); tab++;
        // Additional print code here
        for (x = 0; x < p->n_step; x++)
        {
            Dz1Thread_ftprintf(fp, tab, "[%4u][", x);
            for (y = 0; y < p->n_dst; y++)
            {
                idx = y * p->n_step + x;
                Dz1Thread_ftprintf(fp, "%4u ", p->arr[idx]);
            }
            Dz1Thread_ftprintf(fp, "]\n");
        }
    }
}

```

```

        for (x = 0; x < p->n_dst; x++)
            Dz1Thread_ftprintf(fp, tab, "D[%u] = %u\n", x,
p->arr_total[x]);

        Dz1Thread_ftprintf(fp, --tab, "}\n");
    }
}

void BusArrivingScanTable_zeromem(BusArrivingScanTable *table)
{
    memset(table->arr, 0, sizeof(u32_t) * table->n_dst * table->n_step);
    memset(table->arr_total, 0, sizeof(u32_t) * table->n_dst);
}

static void BusArrivingScanTable_markingEvent(BusArrivingScanTable *table,
BusArrivingEventEntry *src, u32_t *dist)
{
    u32_t dst = dist[src->route_id];
    u32_t step = src->step;
    u32_t dur = src->dur_s;

    u32_t idx = table->n_step * dst + step;
    while(dur && step < table->n_step)
    {
        if (table->arr[idx] == 0) dur--;
        table->arr[idx]++;
        idx++;
        step++;
    }
}

static void BusArrivingScanTable_marking(BusArrivingScanTable *dst, BusArrivingEventTable
*src, u32_t *dist)
{
    u32_t i;
    for (i = 0; i < src->arr_cnt; i++)
        BusArrivingScanTable_markingEvent(dst, src->arr[i], dist);
}

static u32_t BusArrivingScanTable_summary(BusArrivingScanTable *dst, u32_t n_bay)
{
    u32_t x, y, v, idx = 0, ret = 0;;

    for (x = 0; x < dst->n_dst; x++)
    {
        for (idx = dst->n_step * x, y = 0; y < dst->n_step; y++, idx++)
        {
            v = dst->arr[idx] > n_bay ? dst->arr[idx] - n_bay : 0;
            dst->arr_total[x] += v;
        }
    }

    for (x = 0; x < dst->n_dst; x++)
        ret += dst->arr_total[x];

    return ret;
}

// BusArrivingScanTable API
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
// BusArrivingEventTable API
static void BusArrivingEventTable_setMaxStep(BusArrivingEventTable *table)
{
    u32_t i = 0, temp;
    BusArrivingEventEntry *node = NULL;
    table->step_max = 0;
    for (i = 0; i < table->arr_cnt; i++)

```

```

{
    node = table->arr[i];
    temp = node->step + node->dur_s;

    if (table->step_max < temp) table->step_max = temp;
}
}

BusArrivingEventTable *BusArrivingEventTable_new(BusStopSimEnv *env, Dz1Error *err)
{
    Dz1_ERROR_SAFE_PTR(err, err);
    BusArrivingEventTable *ret = (BusArrivingEventTable
*)Dz1Calloc(sizeof(BusArrivingEventTable), 1, err);
    if (ret == NULL) ERR_OUT(err);
    else
    {
        pthread_cleanup_push(BusArrivingEventTable_delAndSetNull, (void
*)&ret);

        if (0) { }
        // additional initialize code here
        else if ((ret->arr = env->events->get_array(env->events, &ret->arr_cnt,
errp)) == NULL) ERR_OUT(err);
        else
        {
            BusArrivingEventTable_setMaxStep(ret);
            ERR_CLEAR(err);
        }

        pthread_cleanup_pop(errp->code); // (WaveRileyDataList_delAndSetNull,
(void *)&ret);
    }
    return ret;
}

BusArrivingEventTable *BusArrivingEventTable_clone(BusArrivingEventTable *src, Dz1Error
*err)
{
    Dz1_ERROR_SAFE_PTR(err, err);
    BusArrivingEventTable *ret = (BusArrivingEventTable
*)Dz1Calloc(sizeof(BusArrivingEventTable), 1, err);
    if (ret == NULL) ERR_OUT(err);
    else
    {
        pthread_cleanup_push(BusArrivingEventTable_delAndSetNull, (void
*)&ret);

        ret->step_max = src->step_max;
        if (0) { }
        // additional clone code here
        else if ((ret->arr = (BusArrivingEventEntry
**)Dz1Memory_clone(src->arr, sizeof(BusArrivingEventEntry *) & src->arr_cnt, errp)) ==
NULL) ERR_OUT(err);
        else ERR_CLEAR(err);

        pthread_cleanup_pop(errp->code); // (WaveRileyDataList_delAndSetNull,
(void *)&ret);
    }
    return ret;
}

void BusArrivingEventTable_del(BusArrivingEventTable *p)
{
    if (!p) return;
    // Additional delete code here
    if (p->arr)
    {
        Dz1Free(p->arr);
    }
}

```

```

        p->arr = NULL;
    }
    Dz1Free(p);
}

void BusArrivingEventTable_dump(BusArrivingEventTable *p, int tab)
{
    if (!p) { Dz1Thread_printf("NULL\n"); return; }
    else
    {
        u32_t i;
        Dz1Thread_printf("{\n"); tab++;
        // Additional print code here
        for (i = 0; i < p->arr_cnt; i++)
        {
            Dz1Thread_tprintf(tab, "entry = ");
            BusArrivingEventEntry_dump(p->arr[i], 0);
        }
        Dz1Thread_tprintf(--tab, "\n");
    }
}

// BusArrivingEventTable API
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
// scan primitive
u32_t BusStopAnalysis_scanSingle(BusArrivingScanTable *scan,
n_route, // 총 노선 수 u32_t
n_dst, // 총 분배 정류장 수 u32_t
n_bay, // 정류장 당 Bay 수 u32_t
dist_v, // 분배 Seed값 u64_t
BusArrivingEventTable *events, // 버스 도착 정차 이벤트
bool_t
verbose, Dz1Error *err)
{
    DZ1_ERROR_SAFE_PTR(errp, err);

    u32_t ret = -1;
    u32_t *dist = NULL;
    if ((dist = BusStopAnalysis_distGen(dist_v, n_route, n_dst, errp)) == NULL)
ERR_OUT(errp);
    else
    {
        pthread_cleanup_push(Dz1Memory_cancel, (void *)dist);

        if (verbose)
        {
            Dz1Thread_printf("Distribution = ");
            BusStopAnalysis_distDump(dist, n_route, n_dst, 0);
        }

        BusArrivingScanTable_zeromem(scan);
        BusArrivingScanTable_marking(scan, events, dist);
        ret = BusArrivingScanTable_summary(scan, n_bay);

        if (verbose)
        {
            Dz1Thread_printf("Pattern = ");
            BusArrivingScanTable_dump(scan, 0);
        }

        pthread_cleanup_pop(1); // (Dz1Memory_cancel, (void *)dist);
    }
}

```



```

    }
    return ret;
}
// scan primitive
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
// scan for seed range & collect top5
Dz1Error BusStopAnalysis_scan(BusStopAnalysisResult *ret,
BusArrivingEventTable *events,
u32_t n_dst, u32_t n_bay, u32_t n_route,
u64_t dist_start,
u64_t dist_end, bool_t verbose)
{
    DZ1_ERROR_SAFE_VAR(errp, err);
    BusArrivingScanTable *scan = NULL;
    if (ret == NULL || events == NULL) ERR_SET_OUT(errp, EINVAL);
    else if ((scan = BusArrivingScanTable_new(n_dst, events->step_max + 300, errp))
== NULL) ERR_OUT(errp);
    else
    {
        BusStopAnalysisResultEntry i;
        BusStopAnalysisResult_init(ret);
        pthread_cleanup_push(BusArrivingScanTable_delAndSetNull, (void
*)&scan);
        for (i.Zv = dist_start; errp->code == 0 && i.Zv < dist_end; i.Zv++)
        {
            pthread_testcancel();
            if ((i.Zt = BusStopAnalysis_scanSingle(scan, n_route, n_dst,
n_bay, i.Zv, events, verbose, errp)) == -1) ERR_OUT(errp);
            else BusStopAnalysisResult_update(ret, &i);
        }
        pthread_cleanup_pop(1); // (BusArrivingScanTable_delAndSetNull, (void
*)&scan);
    }
    return err;
}
// scan for seed range & collect top5
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
// scan for single seed (no summary)
u32_t BusStopAnalysis_scanSimple(BusArrivingScanTable *scan,
BusStopSimEnv *env,
u32_t n_dst, u32_t n_bay, u32_t n_route,
dist_v, bool_t verbose,
Dz1Error *err)
{
    u32_t ret = -1;
    DZ1_ERROR_SAFE_PTR(errp, err);
    BusArrivingEventTable *table = NULL;
    if (scan == NULL || env == NULL) ERR_SET_OUT(errp, EINVAL);
    else if ((table = BusArrivingEventTable_new(env, errp)) == NULL) ERR_OUT(errp);
    else
    {
        u32_t n_route = env->routes->count(env->routes);
        pthread_cleanup_push(BusArrivingEventTable_delAndSetNull, (void
*)&table);
    }

```

```

        if ((ret = BusStopAnalysis_scanSingle(scan, n_route, n_dst, n_bay, dist_v,
table, verbose, errp)) == -1) ERR_OUT(errp);
        else Dz1Error_set(errp, 0);

        pthread_cleanup_pop(1); // (BusArrivingEventTable_delAndSetNull, (void
*&table);
    }
    return ret;
}
// scan for single seed (no summary)
////////////////////////////////////

```

참 고 문 헌

[국내]

- 강영균·고승영·서준석(2000), “ 시내버스 정차시간 분석 ”, 대한교통학회, 학술대회지, 38권, p.501-506
- 곽정화·김영찬·이호상(2009), “ 버스 차량군을 고려한 정차면수 산정 모형 개발 ”, 대한교통학회 학술대회지, 제60권 pp. 340-345
- 국토교통부(2013), “ 도로용량편람(KHCM)”
- 국토교통부(2015), “ 환승센터 및 복합환승센터 설계·배치 기준”
- 김웅철·최대현(2010), “ 시뮬레이션 기법을 이용한 중앙버스전용차로의 정차면수 산정에 관한 연구 ”, 대한교통학회 학술대회지, 제62권, pp.608-613
- 박범환·오석문·홍순흙·문대섭(2005), “ 다양한 정차 패턴을 고려한 열차 노선계획의 수립 ”, 대한교통학회지 제23권 제6호
- 서준석(2002), “ 버스 및 버스정류장 용량산정에 관한 연구 ”, 명지대학교 박사학위논문
- 손기민(2006), “ 버스용량산정 용어개념 ”, 대한교통학회, 교통기술과 정책, 제3권 제2호
- 오미영·정창용·손의영(2009), “ BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석 ”, 대한교통학회지, 제27권 PP.63-71
- 유민석·송재훈·최성임(2013), “ 최적화 기법 기반의 항공기 스케줄러 개발 및 실제 공항의 수치적 묘사 ”, 한국항공우주학회지, pp.681-688
- 이종호(1995), “ 수송문제 선형계획기법을 응용한 모범택시의 배차시스템 개발 ”, 대한교통학회지 제13권 제1호
- 이영우(2013), “ BIS자료를 이용한 경로통행시간 추정 ”, 토목공학회지, 제33권 제3호, pp.1115~1122
- 홍성필(2005), 「 선형계획법 」, 한경사

[국외]

- Adolf, D. May(1990), “Traffic flow fundamentals” , Prentice-Hall, Inc.
- Cundil, M.A. · Watts, P.F.(1973), “Bus Boarding and Alighting Time” Report LR 521, Great Britain Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Danas, A.(1980), “Arrivals of passenger and buses at two London bus stops” , Traffic Engineering and Control 21(10), pp.472-475.
- Fernandez, R.(2001), “A new approach to bus stop modeling” , Traffic Engineering and Control, 42(7).
- Fernandez, R. · Planzer, R.(2002), “On the capacity of bus transit system” , Transport Reviews, 22(3), pp.267-293.
- Fernandez, R.(2003), “A study of bus operations on arterial roads by simulation” , ITE Journal.
- Fernandez, R.(2010), “Modelling of bus stop operations” , Transportation Research Part C,18(6), pp.856-868.
- Ge, H.(2006), “Traffic impacts of bus stops in urban area and related optimization techniques” , PhD Thesis, Southeast University.
- Hoey, W.F. · Levinson, H.S.(1975), “ Bus Capacity Analysis” , Transportation Research Record 546, TRB, Washington D.C.
- Jowett, D.(1972), “Boarding Rates and Stop Times of One-Man Operated Buses” , Operations Research Report R187, London Report.
- Kohler, U.(1991), “Capacity of transit lanes” , In:Proceedings of the International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, Germany.
- Levinson, H.S. · Kevin, R.S. · Jacques, T.(1998), “Bus Lane Capacity Revisited” , Transportation Research Record 1618, TRB,

National Research Council, Washington, D.C., pp.189-199.

- Lin, T.M. · Wilson, N.H.M.(1992), “Dwell Time Relationships for Light Rail System” , Transportation Research Record 1361, TRB, Washington D.C.

- Mushule, N.K.(2012), “Bus bay performance and ITS influence on the capacity of road network in DAR ES SALAAM” , American Journal of Engineering and Applied Science, pp.107-113

- Rajbhandari, R. · Chien. S.I. · Daniel, J.R.(2003), “Estimation of Bus Dwell Times with Automatic Passenger Counter Information” , TRB, Washington D.C.

- Shimazaki. H. · Shinomoto, H.(2007), “A Method for Selecting the Bin size of a Time Histogram” , Neural Computation 19, PP.1503-1527.

- Transportation Research Board(2010), “Highway Capacity Manual” , National Research Council, Washington, D.C.

- Transportation Research Board(2013), “TCRP REORT 100:Transit Capacity and Quality of Service Manual-3rd Edition” , National Research Council, Washington, D.C.

- Weihua, G.Y. · Michael. L. · Cassidy, J. · Griswold, J.B.(2011), “On the capacity of isolated, curbside bus stops” , Transportation Research Part B, 45, pp.714-723.

Abstract

Optimal Allocation of Local Bus Routes at the Multiple Berths - Using the Microscopic Operational Data -

Kim, Kyung Hee

Transportation Studies

Department of Environment Planning

The Graduate School of Environment Studies

Seoul National University

When multiple bus routes are allocated to bus berths in each region at transfer facilities, different standards are being applied, as there are not any objective guidelines provided. Along with the National Transport System Efficiency Act enacted in 1999, the Design & Arrangement Standard of Transfer Centers and Complex Transfer Centers was announced in 2015. The allocation standard for transfer facilities is that “bus routes with similar directions to their destinations are to be put to one bus stop or to the one nearby in order to have the number of buses stopping at a bus stop evenly distributed at peak hours throughout the bus stops.” Since applying this standard above may cause the decision maker’s subjective judgment, an objective and rational standard is required.

The parameters that explain the capacity of bus stops and berths are a series of traveling unit values (headway, bus dwell time, clearance time, and etc.), and the bus dwell times vary based on the arrival distribution and the number of boarding and alighting passengers of an individual bus depending on the road

and traffic conditions. To put this in application, a data analysis at a microscopic level is required. With the development of information technology, the transportation field has also benefited from it when ITS (Intelligent Transport System) was introduced in the early 2000. Through a variety of detection systems, it became possible to collect data in seconds of an individual vehicle in real time that field surveys are no longer necessary. In order to analyze each bus that arrives at a bus stop in real time, BIS in seconds and the detector data are used.

The main result from this research is that first, Erlang Distribution Model was suggested with its K values of 3 and 1 for the bus dwell time and the headway of the distribution model, respectively, which both values have major influence on the capacity of a bus stop. The optimal number of berths at the Songnae transfer facility has been evaluated by using the cumulative probability distribution of the headway distribution model to enable using it practically to evaluate the optimal number of berths at a bus stop.

Second, when bus routes are allocated to a multiple bus stop, a way to base on an on-site expert's practical knowledge and intuitive decision should be provided due to limited information and time restrictions. Route allocation process based on a heuristic approach method has been suggested in a manual way, which can be easily utilized in the practical field.

Third, as heuristic conditions are different at times, which can lead to errors, the route allocation plan based on a heuristic approach method has a limit to providing the optimal solution. This research has suggested the optimal model that the routes allocation value as the objective function minimizing the total waiting time of

all bus stops. The route allocation suggested in the optimal model has better optimized the waiting times at both morning and afternoon peak hours than the one based on the heuristic approach method.

Fourth, the post verification for generalization of the model was simulated by utilizing VISSIM. As a result of evaluating failure rate by scenarios and regions with the index of evaluation set using the number of buses waiting from the number of buses arriving during the time T , failure rate was regarded decreasing both with and without the consideration of bus users.

This research has allowed presenting the characteristics value of each bus arriving at the multiple bus stop. The optimal model was presented through the heuristic approach method and the mathematical model for efficient operation of a multiple bus stop. It is considered that many local governments operating BIS can utilize either one of the two suggested depending on the conditions in the practical field and it is expected to be used for basic research cases for bus stop facilities and operations.

It is considered that the analysis data range based on many various transfer center cases in the future should be expanded and that continuous research on improvement plans for transfer transportation linked shared public transportation rate.

Keywords : Multiple Berths, Optimal Allocation of Local Bus Route, Microscopic Operation Data, Heuristic Access Method, Stoppage Time, Headway

Student Number : 2007-30646